

TRABAJO DE GRADO

MONOGRAFÍA

ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE LA SEMILLA DE *Moringa oleifera* Lam. 1783
COMO COAGULANTE PARA TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

DARIO ERNESTO CORONEL ROMERO

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Medio Ambiente – ECAPMA

Programa de Ingeniería Ambiental

Yopal, Abril de 2018

MONOGRAFÍA

ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE LA SEMILLA DE *Moringa oleifera* Lam. 1783
COMO COAGULANTE PARA TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE

DARIO ERNESTO CORONEL ROMERO

Director:

DR. GILBERTO CORTÉS

Jurados:

ING. ZULMA LORENA DURAN

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Medio Ambiente – ECAPMA

Programa de Ingeniería Ambiental

Yopal, Abril de 2018

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer al Di-os de Israel por guiarme cada día en este proceso y por darme la oportunidad de alcanzar una nueva meta en mi vida.

A mi esposa por su amor, comprensión, soporte y por animarme cada día en seguir luchando por mis sueños.

A mis tres hijos por su amor, paciencia y sacrificio al no dedicarles el tiempo necesario durante este periodo de estudio.

A mis padres por querer siempre lo mejor para mí vida, por entenderme y apoyarme en mis decisiones de formación profesional.

A mis docentes de la UNAD, especialmente a ECAPMA, que por su calidad humana y profesionalismo aportaron los conocimientos que aplicaré en el transcurso de mi vida social y profesional.

Tabla de Contenido

Introducción	1
Resumen	3
Abstract	4
Capítulo I.....	5
1. Generalidades	5
1.1. Estado del arte de la investigación.	5
1.2. Identificación del problema de la investigación.....	7
Capítulo II	13
2. Generalidades de la coagulación y floculación	13
2.1. Estado coloidal.	13
2.2. Propiedades de los coloides.....	14
2.3. Naturaleza de la turbiedad y el color.....	17
2.4. Estabilidad e inestabilidad de los coloides.....	18
2.5. Mecanismos de desestabilización de los coloides.....	21
2.6. Identificación de dosis óptimas	38
2.6.1. Valores de turbiedad, concentración de coagulante natural y porcentaje de remoción	43
2.6.2. Valores de color, concentración de coagulante natural y porcentaje de remoción	49
2.6.3. Valores de pH y concentración de coagulante natural	52

2.6.4. Valores de Alcalinidad y concentración de coagulante natural	54
2.6.5. Protocolo de tratamiento sugerido.....	56
3. Conclusiones y recomendaciones	59
4. Referencias Bibliográficas.....	63
5. Anexo 1. Resumen de la Normatividad sobre agua potable en Colombia	75

Lista de tablas

<i>Tabla 1 Efecto del tamaño decreciente de las esferas.....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 2 Clasificación taxonómica de la Moringa</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 3 Turbiedad Inicial, turbiedad final, concentración Moringa oleifera y % de remoción. 43</i>	
<i>Tabla 4 Dosis de Moringa oleifera para rangos de turbiedad.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 5 Rango de dosis óptima.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 6 Color inicial, color final, concentración de Moringa oleifera y % de remoción.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 7 Valores de pH inicial, pH final y concentración de Moringa oleifera.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 8 Valores de Alcalinidad inicial, Alcalinidad final y concentración de Moringa oleifera</i>	<i>54</i>

Lista de figuras

<i>Figura 1. Tamaño de las partículas suspendidas.</i>	14
<i>Figura 2. Estructura de la doble capa.</i>	19
<i>Figura 3. Modelo esquemático del proceso de coagulación.</i>	22
<i>Figura 4. Identificación de la Moringa. A, hojas grandes, pinnadas. B-D, frutos y semillas.</i>	31
<i>Figura 5. Flores y hojas de Moringa oleifera.</i>	31
<i>Figura 6. Fruto de Moringa oleifera</i>	32
<i>Figura 7. Semillas de Moringa oleifera.</i>	32
<i>Figura 8. Usos de la Moringa oleifera</i>	33
<i>Figura 9. Mecanismo de acción de Moringa oleifera</i>	36
<i>Figura 10. Valores de turbiedad vs concentración de Moringa oleifera</i>	47
<i>Figura 11. Valores de turbiedad vs concentración de Moringa oleifera.</i>	47
<i>Figura 12. Valores de turbiedad vs concentración de Moringa oleifera.</i>	48
<i>Figura 13. Valores de turbiedad vs concentración de Moringa oleifera.</i>	49
<i>Figura 14. Valores de color vs concentración de Moringa oleifera .</i>	50
<i>Figura 15. Valores de color vs concentración de Moringa oleifera</i>	51
<i>Figura 16. Valores de color vs concentración de Moringa oleifera</i>	51
<i>Figura 17. Valores de pH vs concentración de Moringa oleifera.</i>	53
<i>Figura 18. Valores de pH vs concentración de Moringa oleifera.</i>	53
<i>Figura 19. Valores de alcalinidad vs concentración de Moringa oleifera.</i>	55

Introducción

Uno de los grandes problemas afrontados por el mundo es la disponibilidad de agua dulce, ya que esta es vital para la supervivencia de los seres humanos. En el planeta existe una limitación de la disponibilidad de agua dulce. Del 0,8% del agua dulce existente, el 97% son aguas subterráneas y solamente el 3% es agua superficial. Aun así, no siempre esta es apropiada para el consumo humano, haciéndose necesario realizar la remoción de las impurezas presentes para adecuarla a los patrones de potabilidad. El color y la turbiedad son los principales parámetros que se consideran en la evaluación de la calidad de efluentes tratados, siendo indicadores sanitarios y patrones de aceptación del agua para consumo humano. Fundacao Nacional de Saúde (como se citó en Lédo, Lima, Paulo y Duarte, 2009, p.3)

En Colombia de acuerdo al Decreto 1575 de 2007 y la resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Protección Social, el valor máximo de turbiedad permitido es de 2,0 UNT como nivel establecido para consumo humano (Ministerio de Protección Social, 2007, p.2)

Las aguas para consumo humano deben ser sometidas a la combinación de procesos físicos y químicos. Estos procesos se llevan a cabo agregando coagulantes, los cuales pueden ser clasificados como inorgánicos, polímeros orgánicos sintéticos y naturales Okuda (como se citó en Caldera, Mendoza, Briceño, García, & Fuentes, 2007, p.245). Los coagulantes más comunes usados para tratamiento de aguas son el sulfato de aluminio, el sulfato férrico y el cloruro férrico Jiang y Lloyd (como se citó en Gómez, 2016, p.449). Sin embargo, aunque estas sustancias cumplen con su función limpiadora pueden ser nocivas.

En función de lo señalado, se hace necesario evaluar coagulantes y floculantes más efectivos, menos perjudiciales y ambientalmente inocuos para remover la turbiedad de las aguas, con la finalidad de sustituir total o parcialmente las sales de hierro y aluminio. En este sentido, los coagulantes naturales constituyen una alternativa viable por ser más seguros para la salud (Caldera *et al.* 2007, p.246). La presente monografía recopila información de la *Moringa oleifera Lam*, como coagulante natural para el tratamiento de las aguas.

Resumen

El uso de la semilla *Moringa oleifera* Lam. como un coagulante natural para la potabilización de aguas, cobra gran importancia teniendo en cuenta las desigualdades geográficas, socioculturales y económicas de muchas regiones del mundo, incluyendo Colombia, para poder satisfacer la cobertura en agua potable. Es aquí donde un ingeniero ambiental puede generar alternativas naturales de tratamiento con un alto grado de eficiencia, fácil de operar y de bajo costo. Además, que no afecten la salud de las personas ni alteren el medio ambiente.

La monografía se basa en identificar la efectividad de un coagulante natural a través de publicaciones en las cuales se ha trabajado con *Moringa oleifera* como agente potabilizador de agua. De igual manera se definirá los lineamientos de la teoría de la coagulación, identificando los principales coagulantes químicos y naturales, así como el estudio del comportamiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con la aplicación de estos coagulantes.

Palabras clave: *Moringa oleifera*, coagulante natural, turbiedad, alcalinidad, pH, agua potable.

Abstract

The use of *Moringa oleifera seed Lam.* As a natural coagulant for the purification of water, it becomes very important taking into account the geographical, sociocultural and economic inequalities of many regions of the world, including Colombia, in order to satisfy the coverage in drinking water. This is where an environmental engineer can generate natural treatment alternatives with a high degree of efficiency, easy to operate and low cost. In addition, they do not affect the health of people or alter the environment.

The monograph is based on identifying the effectiveness of a natural coagulant through publications in which *Moringa oleifera* has been worked as a water purification agent. Likewise, the guidelines of the coagulation theory will be defined, identifying the main chemical and natural coagulants, as well as the study of the behavior of the physicochemical and microbiological parameters with the application of these coagulants.

Key words: *Moringa oleifera*, natural coagulant, turbidity, alkalinity, pH, drinking water.

Capítulo I

1. Generalidades

1.1. Estado del arte de la investigación.

Los polímeros orgánicos naturales se han usado por más de 4000 años en la India, África y China, como coagulantes eficientes y como ayudas de coagulación de aguas con alta turbiedad, para uso doméstico en áreas rurales. En estas regiones la población ha usado plantas nativas como las semillas del árbol de Nirmali (*Strychnos potatorum*), granos tostados de *Zea mays* o savia de la tuna cactus *Opuntia fiscus-indica*. Asrafuzzaman. (como se citó en Ramírez & Jaramillo, 2015, p.140)

Jahn (como se citó en García, 2007, p.12) “publicó una lista de coagulantes vegetales de origen vegetal que tradicionalmente se habrían utilizado en África subsahariana, la India y América del Sur. Entre ellos se encontraban las semillas de almendra, albaricoque, melocotón, cactus *Opuntia*, legumbres, guisantes, lentejas, nueces, habas, guar y *Moringa oleifera*”. De todos los coagulantes naturales, el coagulante primario de origen vegetal más conocido y estudiado en la actualidad es la semilla de *Moringa oleifera*. (García, 2007, p.12)

Moringa oleifera era originalmente un árbol ornamental en Sudán, plantado durante el dominio británico. Ahí fue donde el Dr. Samia Al azharia Jahn's (un científico Alemán) mediante pruebas de laboratorio confirmaron la presencia de un coagulante muy eficiente en semillas de *Moringa oleifera*. (Schwarz, 2000, p.1)

Estudios realizados por el gobierno de Malawi en una planta piloto para la depuración de agua del río Thyolo, demostraron la viabilidad del uso de semillas de *Moringa oleifera* como coagulante; los niveles de turbiedad del agua del río, en la estación lluviosa de 1992 cuando la planta inició operación, excedía los 400 NTU. Durante el funcionamiento de esta planta se logró una eliminación de sólidos superior al 90%. Las dosis del coagulante a base de las semillas de *Moringa oleifera* utilizado en la planta piloto se encontró en un rango de entre 50 ppm y 250 ppm, dependiendo de la turbiedad inicial que el agua poseía. Folkard (como se citó en Cerón y Garzón, 2015, p.21)

En el año 2010 en la zona sur de Honduras, se evaluaron alternativas de bajo costo con la extracción del coagulante de la semilla de *Moringa oleifera* (marango) para el tratamiento de aguas con turbiedades en un ámbito de 50-100 NTU. Se realizaron ensayos para evaluar la adición de cloruro de sodio, presencia de cáscara y la dosis para establecer si existe una relación en la eficiencia del coagulante para reducir la turbiedad. La evaluación indicó que el mejor tratamiento es la aplicación de semilla con cáscara junto con la adición de NaCl en una dosis de 25 ppm que resulta en una eficiencia de 69%. (Gómez, 2010, p.3)

Caldera *et al.* (2007) evaluaron la eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante natural utilizando muestras de agua provenientes de la planta de tratamiento Pueblo Viejo, estado Zulia, Venezuela. Los resultados demostraron la eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* para remover la turbidez inicial. Los porcentajes de remoción en dichos estudios fueron 80,1 % y 94,3% para dosis de 500 ppm y 400 ppm, respectivamente. (p.244)

En Colombia Melo y Turriago (como se citó en Ramírez y Jaramillo, 2015, p.144) estudiaron la efectividad coagulante de la *Moringa oleifera* como una alternativa de biorremediación en la purificación de aguas superficiales de su región. Para ello, manejaron dosificaciones de 300 ppm del coagulante para las muestras de agua tomadas del caño Cola de Pato ubicado en el sector rural del Municipio de Acacias, Meta. Con una turbidez de 230 NTU al realizar las pruebas aplicando las dosis óptimas del Coagulante, demostraron que esta planta natural es altamente eficiente debido a que presenta una modificación benéfica importante en los sólidos totales pasando de 140 ppm a 80 ppm, lo cual equivale 42,85% de remoción de sólidos totales y la turbidez de 230 NTU a 36 NTU lo cual equivale al 84,34% de remoción en la turbidez (...).

Feria, Bermúdez, y Estrada (2014), evaluaron la eficiencia de la semilla de *Moringa oleifera* como coagulante y sus efectos sobre el pH y la alcalinidad a muestras que fueron tomadas del río Sinú, entre marzo y abril de 2013. Las semillas de *Moringa oleifera* se seleccionaron, descascararon, secaron, molieron y tamizaron hasta obtener un polvo fino con el que se prepararon dosis desde 2,5 ppm hasta 30 ppm en solución salina y se aplicaron a cada muestra tomada del río Sinú. Altas eficiencias de remoción de turbidez se lograron (>90%) con dosis entre 4,5 ppm y 17,5 ppm de coagulante natural para turbiedades iniciales mayores a 90,0 NTU. Para turbiedades iniciales menores a 66,0 NTU, las eficiencias fueron entre 70% y 85%. No se evidenciaron alteraciones significativas en el pH y la alcalinidad luego de los ensayos. (p.9)

1.2. Identificación del problema de la investigación.

El Objetivo de Desarrollo del Milenio relativo al agua potable (ODM 7) se cumplió a nivel mundial en 2010. Consistía en reducir a la mitad la proporción de la población mundial sin

acceso sostenible al agua potable. Los 48 países menos desarrollados no han alcanzado la meta, aunque se han hecho progresos sustanciales y el 42% de la población de esos países ha logrado acceder a fuentes mejoradas de agua de bebida desde 1990. (Organización Mundial de la Salud, 2016, p.1).

En el Departamento de Casanare persisten acusadas desigualdades geográficas, socioculturales y económicas, no solo entre las zonas rurales, sino también urbanas, donde las personas que viven en asentamientos informales, ilegales o de bajos ingresos tienen por lo general un menor acceso a fuentes mejoradas de abastecimiento de agua potable que otros residentes (OMS, 2016, p.1).

La calidad del agua potable es un tema que preocupa a esta región de los Llanos Orientales, la cual está en proceso de desarrollo, repercutiendo en la salud de la población y su relación con la transmisión de enfermedades diarreicas, disenterías, hepatitis A, fiebre tifoidea y poliomielitis, entre otras; por tal motivo es necesario someterla a procesos de tratamiento fisicoquímico que garanticen su potabilización.

En la actualidad los coagulantes más empleados en los procesos de potabilización del agua son el sulfato de aluminio, el sulfato ferroso, el cloruro férrico, etc. El uso de estos compuestos inorgánicos acarrea problemas ambientales como son la bioacumulación, alteración de los ciclos biogeoquímicos entre otros; igualmente acarrea problemas económicos para las empresas prestadoras del servicio. En los procesos de tratamiento de agua, los lodos generados en la etapa de sedimentación están constituidos en parte por los restos del coagulante que no reaccionan

durante el proceso y que altera las características naturales de la fuente hídrica donde se realiza el vertimiento, alterando su naturaleza. Incluso el residual de aluminio en el agua está asociado a enfermedades como el Alzheimer. Satauber (como se citó en Caldera *et al.* 2007, p.245)

Por las razones anteriormente mencionadas se hace necesario buscar alternativas de tratamiento del agua que mitiguen el impacto generado al medio ambiente, a la salud de las personas, que sea efectivo, de bajo costo, fácil de operar y asequible a comunidades vulnerables.

1.2.1. Formulación de la hipótesis de la investigación.

Las semillas de *Moringa oleifera* poseen propiedades coagulantes que permiten remover las partículas coloidales que dan turbiedad y color a las aguas crudas.

El componente activo de coagulación de la *Moringa oleifera* es una proteína catiónica presente en la almendra de la semilla.

Aguas crudas con diferentes rangos de turbiedad pueden ser tratadas con coagulantes naturales como las semillas de *Moringa oleifera* y así reemplazar las sustancias metálicas tradicionales como el sulfato de aluminio.

El uso de las semillas de *Moringa oleifera* para tratamiento de aguas no altera el pH y la alcalinidad del agua tratada.

1.2.2. Sistematización del problema.

¿La semilla de *Moringa oleifera* es efectiva como agente coagulante en el tratamiento de agua para consumo humano?

¿Es viable utilizar las semillas de *Moringa oleifera* como producto coagulante para el tratamiento de agua en zonas rurales y urbanas que presente desigualdades geográficas, socioculturales y económicas?

¿Puede un coagulante natural como la *Moringa oleifera* sustituir los coagulantes químicos tradicionales como el sulfato de Aluminio?

1.2.3. Objetivos.

1.2.3.1. Objetivo general.

- Analizar la efectividad de *Moringa oleifera* Lam. 1783 como agente coagulante en sistemas de potabilización de aguas.

1.2.3.2. Objetivos específicos.

- Establecer los lineamientos de la teoría de la coagulación en aguas potables.
- Identificar los principales coagulantes químicos y naturales utilizados en la potabilización de aguas.
- Reconocer las características que hacen de la moringa un agente coagulante a utilizar en potabilización de agua.
- Identificar rangos de dosis óptimas para potabilización de agua.

1.2.4. Justificación.

La Resolución 2115 de 2007 estableció los parámetros de calidad para el agua destinada al consumo humano. En términos generales el agua potable de la mayoría de las ciudades de Colombia cumplen con la normatividad para el sector, sin embargo hay muchas regiones deprimidas del país donde el agua potable es un bien muy escaso. Esta situación afecta a la salud humana, especialmente a la población más vulnerable como son los niños y adultos mayores, que son propensos a contraer enfermedades tipo infecciones diarreicas agudas (Molano, 2011, p.17).

Para evitar este tipo de enfermedades, el agua destinada a consumo humano debe someterse a tratamientos fisicoquímicos de purificación y acondicionamiento que garantice la potabilidad. Sin embargo, en la potabilización del agua se utilizan varios productos químicos, entre los cuales el sulfato de aluminio se destaca como el de mayor consumo a nivel nacional. Este producto metálico, aplicando la dosis óptima promueve la aglutinación de partículas sólidas disueltas que posteriormente se remueven por métodos físicos. Sin embargo, después del proceso de remoción del material suspendido, queda residual de aluminio en el agua. La ingesta constante del líquido en estas condiciones, se traduce en una acumulación sistemática del residual de aluminio en el organismo, que según estudios sugieren que existe una relación entre el aluminio y enfermedades degenerativas como el Alzheimer y Parkinson. Loreto (como se citó en Molano, 2011, p.18)

El campo de la Ingeniería Ambiental debe propender por la búsqueda de sustancias naturales que sustituyan los compuestos químicos tradicionales y que ofrezcan características similares como la de desestabilizar, agregar y unir las sustancias coloides presentes en el agua; Sandoval *et al.* (2013, p.94) afirma que además sean de bajo costo, operación y adquisición.

La eficiencia y las propiedades de la *Moringa oleifera* Lam. como coagulante natural y su mecanismo de coagulación en el agua con alta turbiedad ha sido estudiado. Se verificó que los componentes activos de las semillas de *M. oleifera* son proteínas catiónicas solubles, cuyo mecanismo predominante de coagulación es la adsorción y neutralización de cargas. El empleo de la *M. oleifera* no presenta cambios significativos en los valores de pH y conductividad del agua después de su tratamiento. El lodo generado por las semillas de *M. oleifera* no es tóxico y presenta un volumen considerablemente menor que el lodo producido mediante el empleo de sulfato de aluminio (Ndabigengesere (como se citó en Lédo *et al.*, 2009, p.5)).

En una investigación realizada en Kenya se demostró la actividad antimicrobiana de extractos de semilla de *M. oleifera* sobre la bacteria *E. coli* (Mahamadou, 2014, p.26), indicadora de contaminación fecal y que podría constituirse como un método barato y sostenible para el control de enfermedades y para la mejora de la calidad de vida en aquellas comunidades donde no se suministre agua potable.

Este proyecto está enfocado a evaluar la efectividad de la semilla de *Moringa oleifera* como un coagulante natural para tratamiento de agua potable.

Capítulo II

2. Generalidades de la coagulación y floculación

Las aguas crudas naturales contienen tres tipos de sólidos no sedimentables: suspendidos, coloidales y disueltos. Los sólidos suspendidos son transportados gracias a la acción de arrastre y soporte del movimiento del agua; los más pequeños (menos de 0,01 mm) no sedimentan rápidamente y se consideran sólidos no sedimentables, y los más grandes (mayor de 0,01mm) son generalmente sedimentables. (Romero, 2009, p.231)

El objetivo principal de la coagulación y la floculación es desestabilizar las partículas coloidales que se encuentran en suspensión, para favorecer la aglomeración; en consecuencia, se eliminan las materias en suspensión estables (Andía, 2000, p.9). Las partículas pequeñas son denominadas coloides y el objeto de ambos procesos es convertirlas en partículas más grandes y pesadas que sedimenten rápidamente. (Pérez, 2010, p.43)

2.1. Estado coloidal.

Las diferentes sustancias que contiene el agua pueden estar presentes en ella de varias formas: cuando una molécula de una sustancia está disgregada dentro del agua, se dice que dicha sustancia está en solución; cuando partículas muy pequeñas de la sustancia están dispersas en el agua, se dicen que están en estado coloidal o en dispersión coloidal; cuando partículas relativamente grandes de una sustancia se encuentran flotando dentro del agua, se dice que están en suspensión. (Pérez, 2010, p.43)

Para aclarar lo anterior se muestra la figura que contiene una clasificación de las partículas según su tamaño.

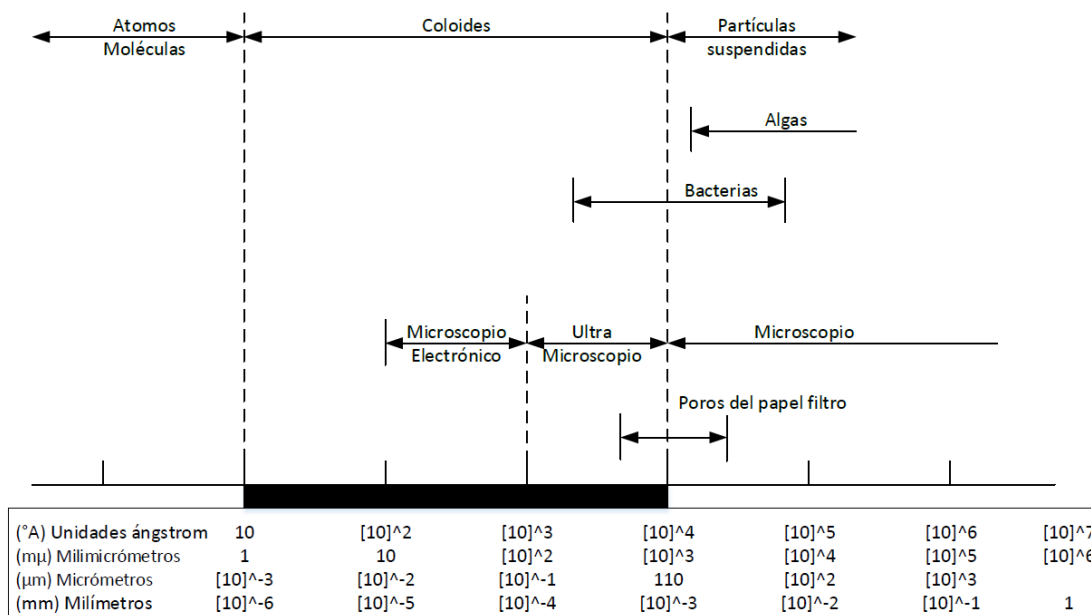


Figura 1. Tamaño de las partículas suspendidas. Tomado de (Kirchmer, 1981, p.1)

Por lo general se considera que las partículas coloidales tienen una dimensión comprendida entre 1 y 1000 mμ aproximadamente. (Pérez, 2010, p.44)

2.2. Propiedades de los coloides.

2.2.1. Propiedades cinéticas.

Dentro de las propiedades cinéticas se consideran:

2.2.2. Movimiento browniano.

Consiste en el movimiento constante e irregular de las partículas coloidales dentro de la fase líquida. La teoría de la cinética explica este fenómeno como resultado del bombardeo caótico de las partículas en suspensión por parte de las moléculas del agua, situación que aumenta al elevarse la temperatura del líquido (Kirchemer, 1981, p.2).

2.2.3. Difusión.

Tiene estrecha relación con el movimiento browniano, ya que, debido a éste, las partículas coloidales tienen la tendencia a dispersarse por todas partes en el disolvente, en este caso el agua. (Pérez, 2010, p.45).

2.2.4. Presión osmótica.

Si un solvente, agua, y un sistema coloidal, agua más coloides, se encuentran separados por una membrana, la cual es permeable al solvente, pero no a los coloides, la dilución puede ocurrir solamente con el movimiento del solvente hacia el sistema coloidal a través de la membrana. Esto ocurre en forma espontánea y se llama flujo osmótico. Si se aplica una presión hidrostática apropiada de forma que el flujo osmótico se detenga, se alcanza un estado de equilibrio. La presión balanceante es la presión osmótica. (Kirchemer, 1981, p.3)

2.2.5. Propiedades ópticas.

Efecto de Tyndall-Faraday describe el fenómeno de dispersión de la luz al pasar a través de una dispersión coloidal. La dispersión es directamente proporcional al tamaño de las partículas. (Pérez, 2010, p.46)

2.2.6. Propiedades de superficie.

Las partículas coloidales se caracterizan por tener una gran superficie específica, definida como la relación entre el área superficial y la masa de una partícula. La tabla 1 muestra el efecto de la disminución del tamaño de las esferas sobre el área total superficial y el tiempo de sedimentación requerido. (Pérez, 2010, p.46)

Tabla 1
Efecto del tamaño decreciente de las esferas

Diámetro partículas [mm]	Orden de tamaño	Área superficial total	Tiempo necesario para la sedimentación
10	Grava	$3,142 \text{ cm}^2$	0,3 s
1	Arena gruesa	$31,42 \text{ cm}^2$	3 s
0,1	Arena fina	$314,2 \text{ cm}^2$	38 s
0,01	Limo	$0,31 \text{ m}^2$	33 min
0,001	Bacterias	$3,14 \text{ m}^2$	55 h
0,0001	Partículas coloidales	$3,17 \text{ m}^2$	230 d
0,00001	Partículas coloidales	2.833 m^2	6,3 años
0,000001	Partículas coloidales	28.328 m^2	Mínimo de 63 años

Fuente: (Pérez, 2010, p.46)

2.2.7. Propiedades electrocinéticas.

Las partículas coloidales tienen carga eléctrica y se mueven de acuerdo a su carga hacia el electrodo de signo opuesto. Por su naturaleza, casi todos los coloides poseen carga negativa, lo cual es muy importante para comprender la estabilidad de las dispersiones coloidales (Pérez, 2010, p.47).

2.3. Naturaleza de la turbiedad y el color.

2.3.1. Turbiedad.

Los contaminantes causantes de turbiedad en el agua son las partículas en suspensión, tales como arcilla, minerales, sedimento, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton y otros organismos microscópicos (Kirchemer, 1981, p.4).

La arcilla es quizás la causa más común de turbiedad en las aguas. Esta se compone principalmente de sílice, aluminio y agua, frecuentemente con cantidades apreciables de hierro, álcalis y tierra alcalina. (Kirchemer, 1981, p.4)

Desde el punto de vista físico las arcillas son cristales con una estructura atómica reticular octaédrica o tetraédrica. (Kirchemer, 1981, p.4)

Actualmente el método más usado para determinar la turbidez es el método nefelométrico, en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresan los resultados en unidades de turbidez nefelométrica (UNT) (Romero, 2009, p.108).

2.3.2. Color.

Las sustancias que producen color son, por regla general, compuestos orgánicos. Considerando el tamaño de las partículas de color, este se encuentra en la frontera de dispersión coloidal y solución verdadera, y considerando el tipo de sistema coloidal, el color orgánico es un

coloide hidrofílico que consiste de moléculas grandes en solución, con propiedades muy distintas a los coloides hidrofóbicos causantes de la turbiedad en el agua (Pérez, 2010, p.47).

Dos tipos de color se reconocen en el agua: el color verdadero, o sea el color de la muestra una vez que se ha removido su turbiedad, y el color aparente, que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales sino también el color debido al material suspendido. (Romero, 2009, p.109)

El color se expresa en unidades de color [UC]. La unidad de color es la que se obtiene agregando 1 mg de platino como cloroplatino de potasio a 1 Litro de agua destilada (Romero, 2009, p.109).

2.4. Estabilidad e inestabilidad de los coloides.

Se entiende por estabilidad, la propiedad inherente de las partículas coloidales de permanecer en suspensión en el transcurso del tiempo, mientras que por inestabilidad, se expresa la tendencia de dichas partículas a aglomerarse, siempre que entren en contacto entre sí (Pérez, 2010, p.47).

La estabilidad de las dispersiones coloidales se debe a las fuerzas de repulsión, originadas por la carga eléctrica de los coloides, generalmente del mismo signo, y por la hidratación de los coloides hidrofílicos. La inestabilidad se debe a factores como la gravedad, el movimiento browniano y además a las fuerzas de Van der Waals. (Pérez, 2010, p.47)

2.4.1. Fuerzas de estabilización.

En los coloides hidrofílicos la estabilidad se mantiene por hidratación, pues las moléculas de agua son atraídas a la superficie de las partículas y actúan como una barrera para el contacto

entre ellas. En los hidrofóbicos la estabilidad es predominantemente un fenómeno eléctrico, explicado por la teoría de la doble capa, o sea por la existencia de una carga opuesta envolvente a dicha superficie. (Romero, 2009, p.235)

En su forma más simple, la teoría establece que las partículas hidrofóbicas suspendidas en el agua transportan cargas eléctricas en su superficie. En aguas naturales, dicha carga es comúnmente negativa. (Romero, 2009, p.235)

El grado de estabilidad de una partícula es determinado por un valor llamado potencial zeta, el cual está relacionado con la carga de la partícula y la distancia a través de la cual la carga es efectiva. (Romero, 2009, p.236)

Las partículas coloidales se caracterizan por poseer dos capas eléctricas alrededor de ellas, de las cuales derivan su estabilidad. La capa interna consiste tanto en cationes como en aniones, pero en general tiene una carga negativa. La capa externa comprende cationes intercambiables tales como Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , H^+ , etc. (Romero, 2009, p.236)

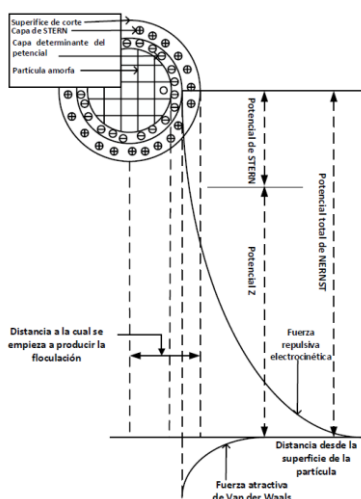


Figura 2. Estructura de la doble capa tomado de (Romero, 2009, p.236)

2.4.2. Fuerzas de desestabilización.

La principal fuerza atractiva entre las partículas coloidales es la fuerza de Van Der Waals, una fuerza débil de origen eléctrico. Estas fuerzas, que son siempre de atracción, independientemente de la carga de las partículas, se debe al movimiento continuo de los electrones en sus órbitas, el cual crea un campo magnético que ejerce influencia sobre los electrones de la materia circundante. (Pérez, 2010, p.42)

La estabilidad de los coloides depende de la resultante de las fuerzas de atracción (fuerza de Van Der Waals) y repulsión (potencial zeta) que actúan sobre ellos. Por lo tanto para lograr la aglomeración de las partículas se debe reducir la fuerza de repulsión, de tal manera que las fuerzas de atracción prevalezcan y se logre la colisión de partículas para formar agrupaciones que se pueden remover fácilmente por gravedad (Romero, 2009, p.237).

Romero, (2009) afirma:

La disminución de la estabilidad de las partículas, o sea la reducción de las fuerzas de repulsión o del potencial zeta, se logra básicamente por los siguientes mecanismos:

Ajustando el pH al punto isoeléctrico, esto es, al pH para el cual la carga neta de la partícula se anula y el potencial zeta se hace cero.

Añadiendo iones de carga eléctrica contraria a la de los coloides que hay que remover.

Mientras mayor sea la valencia del ion que se añade, mayor será su poder de coagulación.

(p.237)

Esto se establece de acuerdo con la ley de Schulze-Hardy: “La precipitación de un coloide es efectuado por aquel ion del electrolito añadido que tenga una carga opuesta en signo a las partículas coloidales, y el efecto de dicho ion se incrementa tanto más cuanto mayor sea el número de cargas que posea”. Las partículas coloidales y suspendidas que se encuentran en gran parte de las aguas superficiales naturales están cargadas negativamente; esto explica porque las sales de aluminio o hierro son las más utilizadas como coagulantes en ingeniería de tratamiento de aguas. (Romero, 2009, p.238)

2.5. Mecanismos de desestabilización de los coloides.

Coagulación-floculación es el proceso mediante el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas llamadas flóculos. (Pérez, 2010, p.55)

2.5.1. Coagulación.

Es el proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado (Andía, 2000, p.9).

2.5.1.1. Fases de la Coagulación.

Pérez, (2010) afirma:

Desde el punto de vista esquemático, se puede considerar que la coagulación se desarrolla en cinco fases consecutivas o simultáneas que explican reacciones físicas y químicas de la siguiente forma:

Primera fase. Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas existentes en la suspensión;

Segunda fase. Precipitación y formación de compuestos químicos que se polimerizan;

Tercera fase. Adsorción de las cadenas poliméricas en la superficie de los coloides;

Cuarta fase. Adsorción mutua entre coloides; y

Quinta fase. Acción de barrido. (p.57)

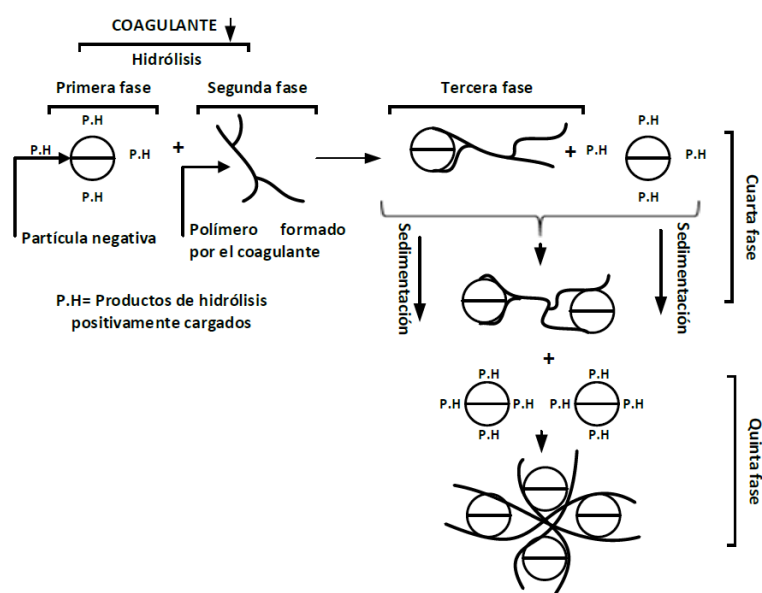


Figura 3. Modelo esquemático del proceso de coagulación. Tomado de (Pérez, 2010, p.58)

2.5.2. Floculación.

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. (Andía, 2000, p.33).

De cierta manera la coagulación y la floculación con semejantes por ser básicamente operaciones de mezcla, diferenciadas únicamente por la intensidad con que dicha mezcla es realizada. (Pérez, 2010, p.101)

Existen dos tipos de floculación: la llamada floculación pericinética que se presenta en forma espontánea, debido al desplazamiento continuo de las moléculas de agua producido por el movimiento browniano y por la gravedad o peso de las partículas que al caer tienden a aglomerarse. El otro tipo es la floculación ortocinética que es debido a gradientes de velocidad inducidos en el líquido por energía mecánica o hidráulica, causando el movimiento de las partículas a diferentes velocidades y direcciones, lo cual aumente notablemente la probabilidad de colisión. (Pérez, 2010, p.101)

2.5.3. Coagulantes.

En general, se puede decir que los coagulantes son aquellos compuestos capaces de formar un floc y que pueden efectuar coagulación al ser añadidos al agua.

2.5.3.1. Coagulantes inorgánicos.

Los componentes son productos químicos que al adicionar al agua son capaces de producir una reacción química con los componentes químicos del agua, especialmente con la alcalinidad del agua para formar un precipitado voluminoso, muy absorbente, constituido generalmente por el hidróxido metálico del coagulante que se está utilizando. (Andía, 2000, p.14)

- Sulfato de Aluminio (alumbre).

El sulfato de aluminio es el coagulante estándar empleado en tratamiento de aguas. El producto tiene usualmente la fórmula $Al_2(SO_4)_3$, con una masa molecular de 600 (unidad). El material se empaca de diversas maneras: en polvo, molido, en terrones, en granos parecidos al arroz y en forma líquida (Romero, 2009, p.239).

Cuando se añaden soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian en Al^{+++} y SO_4^- . El Al^{+++} puede combinarse con coloides cargados negativamente para neutralizar parte de la carga de partícula coloidal (Romero, 2009, p.239).

- Sulfato ferroso.

El sulfato ferroso comercial, $FeSO_4$, se empaca en cristales o granos verdes fácilmente solubles en agua (Romero, 2009, p.242).

El sulfato ferroso reacciona con la alcalinidad del agua para formar bicarbonato ferroso, el cual es bastante soluble. Para que sea útil como coagulante debe existir la oxidación del ion ferrosos en ion férrico insoluble (Romero, 2009, p.242).

- Cloruro férrico.

El cloruro férrico comercial, $FeCl_3$, se consigue en forma líquida o cristalina. Aunque es barato, su manejo resulta difícil a causa de su alta agresividad y debe utilizarse con equipos resistentes a la corrosión. Se usa más en tratamiento de aguas residuales que en aguas para

consumo; sin embargo, produce buenos resultados en aguas subterráneas con alto contenido de hierro. (Romero, 2009, p.243)

- Sulfato férrico.

El sulfato férrico, $Fe_2(SO_4)_3$, se consigue en forma cristalina y puede dosificarse en seco o líquido. No es tan corrosivo como el cloruro férrico, pero debe manejarse con equipo resistente a la corrosión. Opera bien en un intervalo amplio de valores de pH y es bastante usado en el tratamiento de aguas con alto contenido de manganeso, ya que promueve su remoción con bastante éxito a un pH mayor de 9,0 (Romero, 2009, p.244).

2.5.3.2. *Coagulantes naturales.*

Los coagulantes naturales son sustancias solubles en agua, procedentes de materiales de origen vegetal o animal que actúan de modo similar a los coagulantes sintéticos, aglomerando las partículas en suspensión que contiene el agua cruda, facilitando su sedimentación y reducción de turbiedad inicial de ésta. Algunos de estos coagulantes poseen además propiedades antimicrobianas, por lo que se elimina o reduce el contenido de microorganismos patógenos susceptibles de producir enfermedades. Kawamura (como se citó en García, 2007, p.11). A continuación se mencionan algunos de estos coagulantes naturales.

- *Moringa oleifera.*

La *Moringa oleifera* conocida comúnmente como moringa es un árbol pequeño y de crecimiento acelerado que usualmente alcanza de 10-12 metros de altura, originario de los Himalayas (Sánchez, *et al.*, 2013, p.25). Una característica muy importante de la moringa es su

capacidad de resistencia a la sequía y el potencial agronómico siendo un árbol cultivable en regiones áridas y semiáridas. Las frutas son cápsulas de color pardo lineares y de 3 lados con surcos longitudinales de 20 a 45 cm de largo, aunque a veces de 120 cm y de 2 a 2,5 cm de ancho. (Liñan, 2010, p.133)

El uso más conocido de la semilla de *Moringa oleifera* es el tratamiento del agua, debido a sus propiedades coagulantes (Folkard & Sutherland, 1996, p.1) y antibióticas (Eilert, Wolters, & Nahrstedt, 1981, p.55)

- *Strychnos potatorum* (nirmali).

S. potatorum (nirmali) es un árbol de tamaño moderado encontrado en las partes meridional y central de la India, Sri Lanka y Birmania. Escritos sánscritos de la India informaron que las semillas se utilizaron para clarificar el agua turbia hace 4000 años.

Los extractos de la semilla de nirmali son polielectrolitos aniónicos que desestabilizan las partículas coloidales del agua. Estudios previos han establecido que los extractos de semillas también contienen lípidos, Carbohidratos y alcaloides que contienen el grupo -COOH y superficie libres de -OH que mejoran la capacidad de coagulación de los extractos.

(Vijayaraghavan, Sivakumar, & Vimal Kumar, 2011, p.2)

- Cactus spp.

La aplicación de especies de cactus para el tratamiento del agua es bastante reciente en comparación con otros coagulantes naturales tales como nirmali o *M. oleifera*. Lo más común del género de cactus estudiado para el tratamiento del agua es *Opuntia* que es coloquialmente

conocido como 'nopal' en México o 'Pera espinosa' en América del Norte. Este tipo de cactus está asociado con sus propiedades medicinales y fuentes alimentarias dietéticas (Vijayaragharan, *et al.*, 2011, p.3). Además de Opuntia, otras especies de cactus incluyendo Cactus lefaria también han sido utilizados con éxito como coagulantes naturales. ((Martínez, Chávez, Díaz, Chacín, & Fernández, 2003. p.1)

- Semillas de Huizache (*A. farnesiana*).

Utilizada para la remoción de turbiedad del agua (Vásquez, 2007, p.30).

El huizache, en condiciones de aridez, se puede presentar como árbol o arbusto espinoso, perennifolio o subcaducifolio, de 3 a 9 metros de altura, de extensa copa; el fruto es una vaina lisa cilíndrica algo encorvada de color negro, con 6 a 12 semillas reniformes de 6 a 8 mm de largo. Con respecto a su aprovechamiento, la corteza y fruto contienen taninos, por lo que se usa en curtiduría. El follaje es de gran valor forrajero para caprinos, sobre todo en el invierno. (Villareal, *et al.*, 2013, p.170).

- *Pithecellobium saman*

Ospina y Ramírez (como se citó en Ramírez y Jaramillo, 2015, p.148) estudiaron el samán o árbol de lluvia (*Pithecellobium saman*), demostrando la eficiencia de este coagulante natural.

El samán es un árbol que se planta por lo general como sombra y de ornamento. Cuando crece a campo abierto, su fuste es corto y su copa esparcida, pero forma un tallo largo y relativamente recto. Su madera es muy estimada en algunos lugares para el tallado de los muebles (Skolmen, 1990, p.461).

- Almidones.

El almidón es un compuesto que se localiza en raíces, tubérculos, frutas y semillas de las plantas. Es un polisacárido sintetizado a partir del dióxido de carbono que toman las plantas de la atmósfera y del agua que toman del suelo, formada por una mezcla de dos sustancias: la amilasa y la amilopectina, las que solo difieren en su estructura. Méndez (como se citó en Ramírez & Jaramillo, 2015, p.144)

Los polímeros naturales tales como almidón, y celulosa han sido investigados como una alternativa atractiva en los procesos de coagulación-floculación para la remoción de partículas suspendidas y coloidales, y una de las ventajas que presenta es que dichos polímeros naturales y sus derivados son biodegradables; asimismo, su degradación intermedia es inofensiva para el ser humano y el ambiente. Entre los más utilizados se encuentran los polisacáridos extraídos de los almidones de la papa, yuca y maíz. Shogren (como se citó en Ramírez & Jaramillo, 2015, p.144)

Másmela y Aguilar, (2017, p.88) evaluaron y compararon de forma cuantitativa y cualitativa la capacidad coagulante de los almidones de origen natural (yuca y platano) en las aguas residuales domésticas de la planta de tratamiento de aguas residuales del parque agroindustrial de occidente-PAO.

2.5.4. Características de la *Moringa oleifera*.

La *Moringa oleifera*, es un árbol siempre verde originario del sur del Himalaya, ha sido introducida y se ha naturalizado en otras partes de la India, Bangladesh, Afganistán, Pakistán, Sri

Lanka, el Sureste asiático, Asia occidental, la Península Arábiga, África del Este y el Oeste, Madagascar, el sur de la Florida, las islas del Caribe y América del Sur (Liñan, 2010, p.131).

Una característica muy importante de la moringa es su capacidad de resistencia a la sequía y el potencial agronómico siendo un árbol cultivable en regiones áridas y semiáridas. (Sánchez, *et al.*, 2013, p.25)

Su clasificación taxonómica muestra que pertenece a la familia de las *Moringáceaes*, orden de los Capparidales clase magnoleopsida. Es la conocida del género *Moringa* que cuenta con 13 especies. Ver tabla 2

Tabla 2
Clasificación taxonómica de la Moringa

TAXONOMÍA	
<i>Familia</i>	<i>Moringáceaes</i>
<i>Origen</i>	<i>Capparidales</i>
<i>Clase</i>	<i>magnoleopsida</i>
<i>Género</i>	<i>Moringa</i>
<i>Especies</i>	<i>arborea</i>
	<i>concanensis</i>
	<i>drocanensis</i>
	<i>drouhardii</i>
	<i>hildebrandtii</i>
	<i>pygmeae</i>
	<i>peregrina</i>
	<i>ovalaifolia</i>
	<i>rospoliana</i>
	<i>stenopetala</i>

TAXONOMÍA
*rivae**oleifera**borziana*

 Fuente: (Liñan, 2010, p.131)

Alcanza de 7-12 m de altura y de 20-40 cm de diámetro, con una copa abierta tipo paraguas y fuste recto. Las hojas son compuestas y están dispuestas en grupos de folíolos con 5 pares de estos acomodados sobre el pecíolo principal y un folíolo en la parte terminal. Las hojas son alternas tripinadas con una longitud de 30-70 cm. (Liñan, 2010, p.132)

Olson y Fahey (2011, p.1072) afirman:

Para asegurar la identificación, sus especies se caracterizan por tener hojas pinnadas grandes, en donde cada hoja está dividida en muchos folíolos dispuestos sobre un armazón llamado raquis. Los frutos forman una cápsula larga y leñosa que cuando alcanza la madurez se abre lentamente en 3 valvas que se separan la una de la otra por su longitud, quedando pegadas sólo en la base del fruto. En la mayoría de las especies, las semillas presentan 3 alas longitudinales. La combinación de hojas pinnadas, frutos trivalvados y semillas con 3 alas hace que sea muy fácil de reconocer una Moringa.

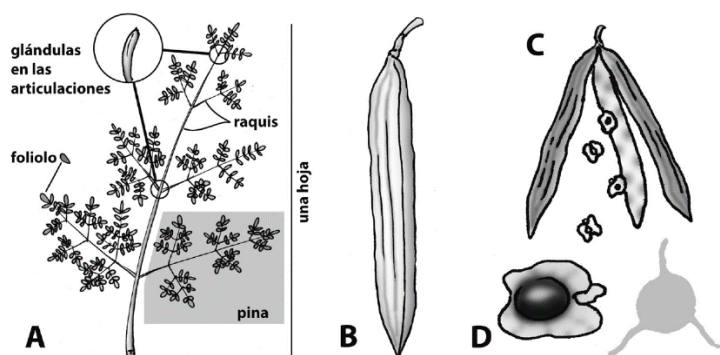


Figura 4. Identificación de la Moringa. A, hojas grandes, pinnadas. B-D, frutos y semillas. Tomado de (Oslo y Fahey, 2011)

Las flores son bisexuales con pétalos blancos y estambres amarillos (ver figura 5). Puede florecer dos veces al año, como en el sur de la India o durante todo el año en lugares donde no hay cambios de temperatura y precipitación a largo del año, como sucede en los países caribeños. Las flores son polinizadas por abejas, otros insectos y algunas aves (Liñan, 2010, p.132).



Figura 5. Flores y hojas de *Moringa oleifera*. Tomado de Fuente: web:
https://www.google.com.co/search?q=arbol+de+moringa&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwipvtSamZbWAhVP4mMKHSGbPAQ_AUICigB&biw=1366&bih=613#imgrc=jGJwD0OjYq3cYM:

Las frutas son cápsulas de color pardo lineares y de 3 lados con surcos longitudinales de 20 a 45 cm de largo, aunque a veces de 120 cm y de 2 a 2,5 cm de ancho (ver figura 6). (Liñan, 2010, p.133)



Figura 6. Fruto de *Moringa oleifera*. Tomado de https://www.google.com.co/search?biw=1366&bih=613&tbm=isch&sa=1&q=fruto+de+la+moringa&oq=fruto+de+la&gs_l=psy-ab.1.0.0i67k1j0l3.480515.481855.0.483288.11.8.0.0.0.472.927.0j1j1j0j1.3.0....0...1.1.64.psy-ab..8.3.925.9L8o166NJNo#imgsrc=suidBFqJP-JLhM:

Las semillas son de color pardo oscuro, globulares de 1 cm de diámetro con alas con una consistencia papirácea (ver figura 7). Las vainas maduras permanecen en el árbol por varios meses antes de partirse y liberar las semillas, las cuales son dispersadas por el viento, agua y probablemente animales (Liñan, 2010, p.133).



Figura 7. Semillas de *Moringa oleifera*. Tomado de <https://www.google.com.co/search?biw=1366&bih=613&tbm=isch&q=semilla+de+la+moringa&sa=X&ved=0ahUKEWjimtGGm5bWAhUM6iYKHX6cANAQhyYIKw#imgsrc=gNfbyt2hRcbCeM:>

Todas las partes de la planta son comestibles desde las hojas hasta la raíz. Los estudios de moringa han ido incrementándose en los últimos años debido a su importancia nutricional ya que

el contenido de proteínas, vitaminas y minerales es muy sobresaliente destacando que en esta planta se encuentran todos los aminoácidos esenciales. En la actualidad existe una variedad de productos elaborados a partir de la planta de moringa como: cápsulas genéricas, chocolate en polvo, cápsulas de moringa ginseng, cremas hidratantes, destacando en estos productos los altos contenidos de vitaminas y minerales. Como se sabe las semillas de la moringa contienen algunas proteínas funcionales de alto valor con capacidad coagulante, esta tecnología se ha fusionado con el tratamiento de aguas (Sánchez, *et al.*, 2013, p.25).

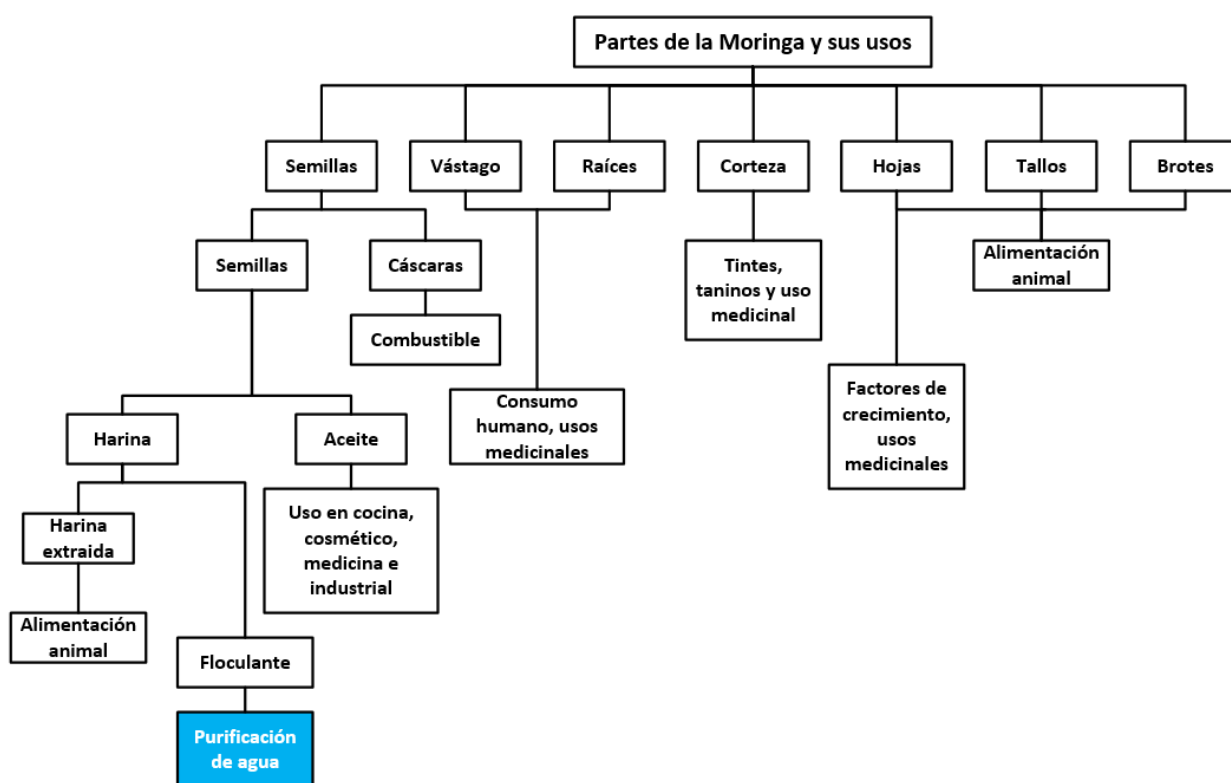


Figura 8. Usos de la *Moringa oleifera*, tomado de Foidl, *et al.*, (como se citó en Canett, Arvayo, & Ruvalcaba, 2014, p.39)

2.5.5. Componente activo de coagulación de la *Moringa oleifera*

Según Gherbremichael, Gunaratna, Henriksson, Brumer, & Dalhammar, (2005, P.1), Las proteínas son los principales componentes activos en los extractos de semillas de *Moringa*

oleifera. De acuerdo con Santos, Argolo, Coelho, & Paiva (como se citó en Scaramal, *et al.*, 2012, p.291) la proteína encontrada en el extracto acuoso obtenido de la semilla de *Moringa oleifera* Lam tiene masa molecular de aproximadamente 30 kDa¹.

Previamente Ndabigengesere, *et al.* (como se citó en Scaramal, *et al.*, 2012, p.291) describieron un complejo catiónico dimérico con una masa molecular de 12-14 kDa y el punto isoelectrico (Ip) entre 10 y 11 de la proteína coagulantes de la semilla de *Moringa oleifera*, que desestabiliza las partículas contenidas en el agua y flocula los coloides mediante un proceso de neutralización y adsorción seguido de sedimentación.

En la absorción y neutralización de Cargas, las partículas coloidales poseen carga negativa en su superficie, estas cargas llamadas primarias atraen los iones positivos que se encuentran en solución dentro del agua y forman la primera capa adherida al coloide. El potencial en la superficie del plano de cizallamiento es el potencial electrocinético – potencial ZETA; este potencial rige el desplazamiento de coloides y su interacción mutua (Andía, 2000, p.12).

Gassenschmidt, Jany, Tauscher, & Niebergall (como se citó en Scaramal, *et al.*, 2012, p.291) aislaron una proteína floculante de las semillas de *Moringa oleifera* por extracción con tampón de fosfato seguido de cromatografía de intercambio catiónico. La masa molecular de la proteína determinada por SDS-PAGE fue de aproximadamente 6,5 kDa, el punto isoelectrico fue superior a pH 10. El análisis de aminoácidos y la secuenciación mostraron altos contenidos de glutamina, arginina y prolina y un total de 60 residuos. La capacidad del floculante, determinada en

¹ kDa (kiloDalton): Es una unidad estándar de masa definida como la doceava parte (1/12) de la masa de un átomo

suspensión en polvo de vidrio, es comparable a la de un polímero catiónico a base de poliacrilamida. La actividad de floculación puede explicarse por el mecanismo de carga de parche debido al bajo peso molecular y a la alta densidad de carga.

En general, en la literatura se encuentran diferentes resultados del peso molecular para la proteína de Semilla de *Moringa oleifera*, que van de 6,5 kDa a 30 KDa.

Sánchez, *et al.*, (2013) afirma:

Existen muchos estudios sobre *Moringa oleifera* en donde se muestra el mecanismo de acción de las proteínas coagulantes tal es el caso de la proteína MOC-SC-PC (*Moringa oleifera* Coagulant- NaOH Solution- Purified Coagulant) que actúa en forma de enredadera a causa de la unión de iones bivalentes que conectan cada molécula de componente activo (MOC-SC-PC) y forman una red atrapando la materia orgánica (p.27).

Otro estudio muestra la habilidad de una proteína recombinante (MO2.1) con una capacidad floculante de arcilla y bacterias (*Paenibacillus*) expresando niveles de floculación por medio de microscopía electrónica, así como también muestran la aglomeración de montmorillonita y floculación de *Paenibacillus* por acción de la proteína floculante de *Moringa oleifera*. (Sánchez, *et al.*, 2013, p.27)

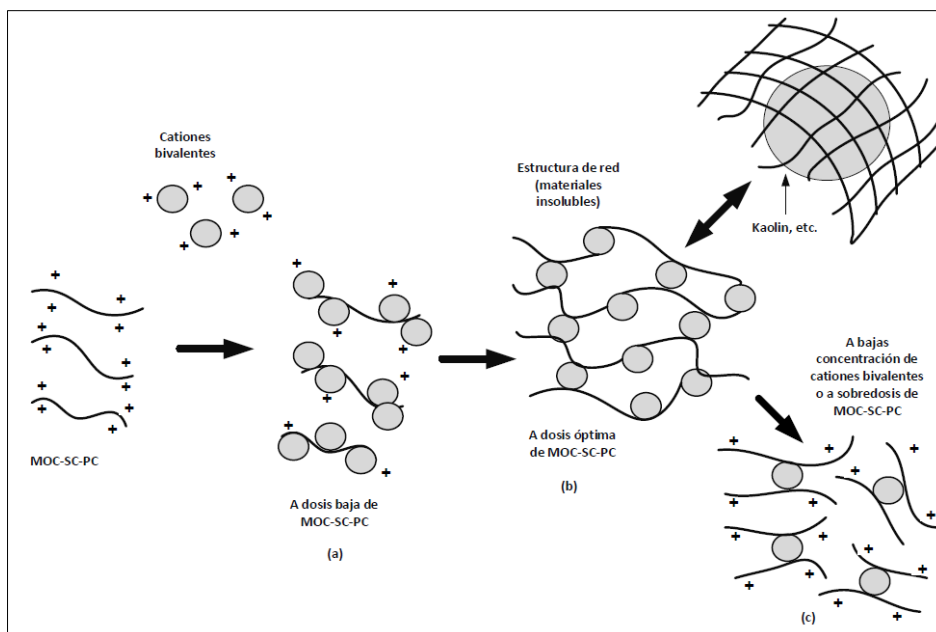


Figura 9. Mecanismo de acción de *Moringa oleifera*. Tomado de Broin, *et al.* (como se citó Sánchez, *et al.*, 2013, p.29)

Este fenómeno es explicado por la teoría del “puente”. Las moléculas del polímero muy largas contienen grupos químicos que pueden absorber las partículas coloidales. La molécula de polímero puede así absorber una partícula coloidal en una de sus extremidades, mientras que los otros sitios son libres para absorber otras partículas. Por eso se dice que las moléculas de los polímeros forman el “puente” entre las partículas coloidales. Esto puede tener una re-estabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros (Andía, 2000, p.13).

Por otro lado Okuda, *et al.*, (como se citó en Bravo, 2017), afirma:

El mecanismo de adsorción y puente entre partículas se produce cuando un coagulante proporciona una cadena polimérica de alto peso molecular, aumentando en gran medida el número de sitios de adsorción no ocupados. Por lo tanto, a partir de la adsorción entre partículas de caolín y el componente activo de coagulación se forman puentes de partículas que sirven

como redes para formación del coagulo. En los extractos de las semillas, la presencia de electrolitos en medio acuoso puede facilitar el efecto coagulante de coagulantes poliméricos ya que se genera menor repulsión electrostática entre las partículas permitiendo la formación de una estructura a modo de red en el agua turbia para eliminar sólidos suspendidos, mediante el mecanismo de coagulación de barrido. (p.27)

La moringa además de ser muy eficiente en cuanto a clarificación del agua presenta propiedades desinfectantes capaces de eliminar efectivamente microorganismos presentes en agua como coliformes totales y fecales (Mendoza, Fernández, Ettiene, & Díaz, 2000, p.241), así como también algunas cepas de *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus faecalis*, *Salmonella typhi* y *Shigella dysenteriae* (Oluduro, Aderiye, Connoly, Akintayo, & Famurewa, 2010, p.422). *Moringa oleifera* muestra la presencia de 3 compuestos: 4-(L-ramnopiranosiloxi) isotiocinato de bencilo, metil N-4-(L-ramnopiranosil-oxi) bencil carbamato y 4-(D-glucopiranosil-1 4-Lramnopiranosiloxi)- tiocarbozamida bencilo, todos mostrando actividad bactericida muy alta contra los patógenos mencionados anteriormente, en especial el último ya que presenta una potente inhibición de 99.2% hacia *Shigella dysenteriae* y un 100% para *Bacillus cereus*, *E. coli* y *Salmonella typhi* (Oluduro, *et al.*, 2010, p.422)

Coelho, *et al*, (2009, p.1) afirman:

Las semillas de *Moringa oleifera* contienen compuestos solubles en agua como (WSMoL) y (MoE (1-15)) que interfieren en el desarrollo y la supervivencia de las larvas de *Aedes aegypti*. MoE (1-15) mostró actividad hemaglutinante y WSMoL tuvo similitud con las proteínas

floculantes de las semillas de *Moringa oleifera*. El MoE retrasaron el desarrollo larval y WSMoL mostró actividad larvica.

2.6. Identificación de dosis óptimas

La dosificación del coagulante es muy variable en los diferentes ámbitos, siendo necesario establecer un valor óptimo mediante pruebas de laboratorio; dentro de estas pruebas destaca el ensayo Jar-Test o prueba de jarras, cuya importancia deriva de su facilidad de realización, interpretación y versatilidad al estudiar diferentes parámetros que influyen en el proceso de coagulación-floculación, determinando la selección de coagulantes, dosificación óptima, fijación de un pH óptimo de coagulación, etc. Los artículos consultados en esta monografía basan su ensayo en la metodología de la prueba de jarras.

Caldera, *et al* (2007), evaluaron la eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante natural en la potabilización de aguas sintéticas con valores de turbiedad de 75 y 150 NTU. Los resultados demostraron la eficiencia de la semilla de *Moringa oleifera* para remover la turbiedad desde 75 y 150 NTU a valores mínimos de 14,9 y 8,5 NTU, respectivamente. Las concentraciones óptimas del coagulante *Moringa oleifera* para valores de turbiedad inicia de 75 y 150 NTU, fueron de 500 ppm y 400 ppm, respectivamente. (p.244)

Molano, (2011, p.35), en el laboratorio CEIAM de la Universidad Industrial de Santander UIS realizo una prueba de jarras con agua tomada del rio Frío en zona urbana del Municipio de Floridablanca, para verificar la capacidad coagulante de la semilla de *Moringa oleifera* Lam, tomando una turbiedad inicial de 689 UNT. Después del ensayo se pudo inferir que la turbiedad

más baja se obtuvo en la jarra donde se aplicó una dosis de 62 ppm y el pH se mantuvo relativamente estable. Ver tabla 3

Sandoval, *et al.*, (2013, p.93), compararon la eficiencia entre tres tipos de soluciones obtenidas de la semilla de *Moringa oleifera* y el sulfato de aluminio mediante prueba de jarras. Se parte de la dosis óptima del sulfato de aluminio como parámetro de comparación para determinar la eficiencia de remoción de los coagulantes naturales así como la influencia de los mismos en las propiedades del agua tratada. Se necesitó una dosis de 40 ppm para reducir la turbiedad del agua de 36 UNT a 15,83 arrojando un porcentaje de remoción del 56,02 % como se describe en la tabla 3. Los tratamientos con *Moringa oleifera* no cambiaron las propiedades químicas del agua tratada.

(Mendoza, *et al.*, 2000, p.235), evaluaron la eficiencia de la *Moringa oleifera* como coagulante en la potabilización de aguas crudas sintéticas con valores de turbiedad entre 7 y 49 NTU. Se estudiaron los parámetros de turbiedad, color, pH y alcalinidad. Los resultados indicaron que el extracto acuoso de Moringa utilizado en el proceso de coagulación a dosis entre 10 y 20 ppm remueven la turbiedad de 49, 29, 20, 15, 11 y 7 UNT a valores por debajo de 5 UNT en el proceso de sedimentación (ver tabla 3). El color disminuyo de 30, 25 y 15 UPC a valores entre 5 y 10 UPC (ver tabla 6). Se observó una variación mínima en el pH y la alcalinidad de las aguas tratadas con *Moringa oleifera*.

Gómez, (2016), evaluó la eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera lam* como coagulante, la variable de respuesta encontrada fue la remoción de turbiedad. El extracto de coagulante

trabaja muy bien a un pH neutro de la muestra de agua, obteniendo remociones de turbiedad superiores al 95% sin afectar considerablemente la muestra de agua, encontrando que los valores óptimos para la máxima remoción de turbiedad y color es utilizar una dosis de 274,9 ppm de coagulante y un pH de 7,1. (p.447)

(Feria, *et al.*, 2014, p.18) tomaron muestras de agua cruda del río Sinú, cerca de la captación de la Planta de potabilización del Barrio Mocarí, en la ciudad de Montería, Córdoba. Se realizaron ocho muestreos simples entre los meses de marzo y abril de 2013 que fueron sometidas a la prueba de jarras a diferentes dosis del coagulante de *Moringa oleifera*. El rango de turbiedad final lograda para dicho coagulante natural se halló entre 5,0 UNT y 10,50 UNT. El pH de las muestras, antes y después de la aplicación del coagulante natural, se mantuvo en un rango de 7,5 y 8,2 unidades de pH.

(Rubí, Carrasquero, Martínez, Mejías, y Vargas, 2013, p.27) evaluaron la eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante orgánico en la remoción de metales en aguas de baja turbiedad provenientes de un sistema de tratamiento de efluentes residuales domésticos basado en lagunas de estabilización del estado Zulia, Venezuela, para el mejoramiento de la calidad. Se alcanzaron porcentajes de remoción de 87,25 % luego de sedimentada la muestra, con una dosis óptima de 25 ppm.

(Muyibi, Noor, Leong, & Loon, 2010, p.1) evaluaron el efecto de la extracción del aceite de las semillas de *Moringa oleifera* para coagulación utilizando muestras de agua turbia de dos ríos con niveles de turbiedad de 56 y 451 NTU. Se tomaron muestras de agua cruda de la Planta de

tratamiento de Sungai Selangor en Batang Berjuntai y de la Planta de tratamiento de agua de Sungai Semenyih en Kuala Lumpur, Malasia. Para muestras de agua con turbiedad inicial de 451 NTU, la *Moringa oleifera* fue capaz de lograr un 98% de eliminación de turbidez en una dosis óptima de 200 ppm. Para la baja turbidez de 56 NTU, el extracto de *Moringa oleifera* logró una eliminación de turbiedad del 87% a una dosis óptima de 250 ppm.

(Lédo, *et al.*, 2009), investigaron la eficiencia de dos coagulantes, el sulfato de aluminio y semillas de *Moringa oleifera*, para remoción de turbiedad en muestras de agua provenientes de la Laguna de Jiqui, estado Grande do Norte, Natal-Brasil. Los resultados sugieren que, para aguas de baja turbiedad, las semillas de *Moringa oleifera* pueden ser un sustituto potencialmente viable al sulfato de aluminio para la clarificación de dichas aguas. La mejor eficiencia de remoción fue observada en la dosificación de 50 ppm, correspondiente a un porcentaje de remoción de turbiedad del 74%. (p.9)

(Gómez, 2010), evaluó la alternativa de utilizar las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante para el tratamiento de aguas con turbiedad en un ámbito de 50 a 100 NTU. Los ensayos de tratabilidad incluyeron la adición de cloruro de sodio (NaCl) y la cascara de la semilla. La evaluación indicó que el mejor tratamiento es la aplicación de semilla con cáscara junto con la adición de NaCl (CcNaCl) en una dosis de 25 ppm que resulto en un porcentaje de remoción del 69%. (p.3)

Por otro lado, en Honduras, (Núñez, 2007, p.7) evaluó las propiedades coagulantes de las proteínas contenidas en la semilla de *Moringa oleifera*. El estudio se realizó con muestras de

agua del Río Neteapa el cual abastece el casco urbano del Municipio de Morocelí y con semillas de *Moringa oleifera* provenientes de la zona sur de Honduras. Se realizaron ensayos con cuatro dosis de la semilla de *Moringa oleifera* en tres rangos de turbiedad entre 0 – 500 UNT, obteniendo una eficiencia de remoción hasta del 98%. Se comprobó que con este método se puede tratar agua con turbidez inicial en el rango de 5 a 500 UNT mediante la aplicación de 0,15 a 0,50 gramos por cada litro de agua (dependiendo de la turbiedad inicial) lo que equivale a 2 o 3 semillas.

La tabla 3 resume datos de turbiedad inicial, turbiedad final, concentración de coagulante natural de *Moringa oleifera* y porcentaje de remoción de partículas causantes de turbidez. En esta investigación se encontraron artículos donde no se evidencia el porcentaje de remoción, sin embargo su cálculo se realiza teniendo en cuenta la turbiedad inicial y la turbiedad final utilizando la siguiente ecuación:

$$Eficiencia\ de\ remoción\ (\%) = \frac{Turbiedad\ inicial\ (UNT) - Turbiedad\ fina\ (UNT)}{Turbiedad\ inicial\ (UNT)} \times 100$$

(Murillo, 2011, p.69)

2.6.1. Valores de turbiedad, concentración de coagulante natural y porcentaje de remoción

Tabla 3

Turbiedad Inicial, turbiedad final, concentración Moringa oleifera y % de remoción

Concentración <i>Moringa oleifera</i> (ppm)	Turbiedad Inicial (UNT)	Turbiedad Final (UNT)	Remoción (%)	Referencia
500	75	14,9	80,1	(Caldera, <i>et al.</i> , 2007)
400	150	8,5	94,3	
30	689	309	55,2	
40	689	316	54,1	
52	689	286	58,5	(Molano, 2011)
62	689	280	59,4	
72	689	300	56,5	
82	689	282	59,1	
40	36	15,83	56,02	(Sandoval, <i>et al.</i> , 2013)
300	230	36	84,34	(Melo y Turriago., 2012)
20	7	4,97	29	
15	11	5,06	54	
15	15	3,3	78	(Mendoza <i>et al.</i> , 2000)
15	20	5,4	73	
10	29	4,93	83	
10	49	4,9	90	
175	152	43,11	71,6	(Gómez, 2016)
250	152	54,89	63,8	
350	152	60,66	60	
12,5	24,56	7,62	69	(Feria, <i>et al.</i> , 2014)
15	48,20	6,10	87,3	

Concentración <i>Moringa oleifera</i> (ppm)	Turbiedad Inicial (UNT)	Turbiedad Final (UNT)	Remoción (%)	Referencia
17,5	66	7,0	89,4	
20	96,20	8,90	90,7	
22,5	174,33	10,50	94	
25	247,50	8,50	96,6	
27,5	320	9,80	96,9	
30	364,66	7,50	97,9	
25	40	5,10	87,25	(Rubí, <i>et al.</i> , 2013)
200	451	441,98	2	
300	451	437,02	13	(Muyibi, <i>et</i> <i>al.</i> , 2010)
250	56	48,72	3	

Fuente: Autor 2018

(Ospina y Ramírez, 2011, p.13) midieron la eficiencia de coagulación, floculación y sedimentación de la *Moringa oleifera* en muestras de agua del río Combeima, que abastece el acueducto urbano de la ciudad de Ibagué, en épocas de lluvia y con valores de turbiedad de hasta 1500 UNT. La dosis óptima del coagulante fue entre 30-95 ppm, que permitió tener una turbidez final inferior a 10 UNT. Se utilizó el sulfato de aluminio para obtener un comparativo entre este producto químico y la harina de *Moringa oleifera*. En la Tabla 4 se indica la turbiedad inicial, turbiedad final y concentración del coagulante natural obtenidos por Ospina y Ramírez.

Tabla 4

Dosis de Moringa oleifera para rangos de turbiedad obtenidos por Ospina y Ramírez (2011)

Concentración (ppm)	Turbiedad	Turbiedad Final (UNT)
	Inicial (UNT) rango	
30	0-20	<10
35	20-40	<10
40	41-80	<10
46	81-100	<10
49	101-130	<10
51	131-180	<10
54	181-200	<10
55	201-240	<10
58	241-280	<10
60	281-320	<10
65	321-360	<10
68	361-400	<10
69	401-450	<10
70	451-500	<10
70	501-550	<10
75	551-600	<10
75	601-650	<10
78	651-700	<10
78	701-750	<10
79	751-800	<10
79	751-850	<10
80	801-900	<10
80	851-950	<10
81	901-1100	<10
83	951-1200	<10
88	1101-1300	<10

Concentración (ppm)	Turbiedad	Turbiedad Final (UNT)
	Inicial (UNT)	
	rango	
88	1201-1400	<10
95	1301-1500	<10

Fuente: (Ospina y Ramírez, 2011)

De acuerdo con (Schwarz, 2000), para aguas con turbiedad a bajo de 50 NTU la banda de dosis de semillas de *Moringa oleifera* es de 10-50 ppm. Turbiedades entre 50 y 150 NTU el rango de dosis optima es de 30 – 100 ppm y turbiedades mayores a 150 NTU están en un rango de dosis óptima de 50 – 200 ppm. (p.3)

La cantidad de semilla requerida variará dependiendo de la fuente de agua cruda y de su calidad, sin embargo la ventaja de su uso está en el amplio rango de dosis sobre el cual el tratamiento puede ser efectivo. En la tabla 5 se da una guía aproximada de la dosis requerida dependiendo del rango de turbiedad. (Schwarz, 2000, p.3)

Tabla 5
Rango de dosis óptima según Schwarz

Turbiedad del agua cruda (UNT)	Rango de dosis (ppm)	Referencia
<50	10-50	
50-150	30-100	Schwarz, D. (2000)
>150	50-200	

Fuente: Schwarz, D. (2000)

2.6.1.1. Valores de turbiedad vs concentración de *Moringa oleifera*

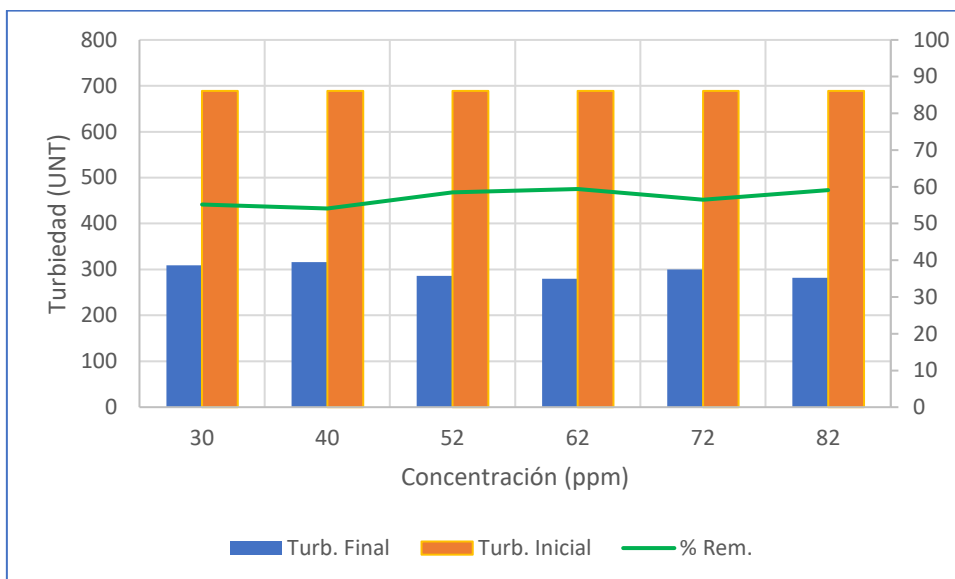


Figura 10. Valores de turbiedad vs concentración de *Moringa oleifera*. Datos tomados de (Molano, 2011)

En la figura 10 se puede observar que el menor valor de turbiedad alcanzado es 280 NTU, para una dosis de 62 ppm. Se observa que la eficiencia de remoción de turbiedad estuvo entre 54,1% para la dosis de 40 ppm y 59,4% para la dosis de 62 ppm.

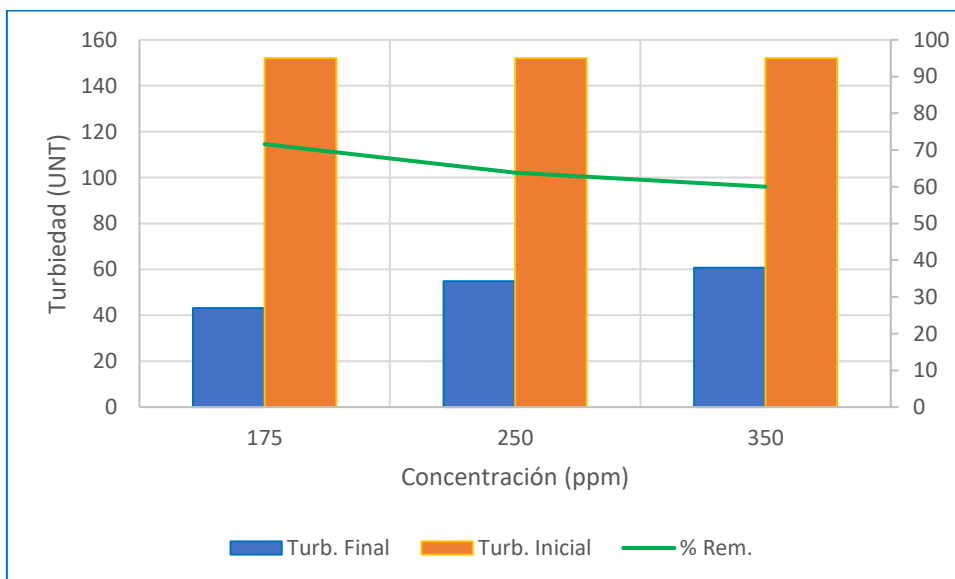


Figura 11. Valores de turbiedad vs concentración de *Moringa oleifera*. Datos tomados de (Gómez, 2016)

En la figura 11 se muestran los valores de turbiedad alcanzados después del proceso de coagulación con dosis entre 175 y 350 ppm. El menor valor de turbiedad obtenido es de 43.1 NTU, para una dosis de coagulante de 175 ppm. Se observa que los valores de turbiedad tendieron a aumentar con el incremento de la dosis de coagulante.

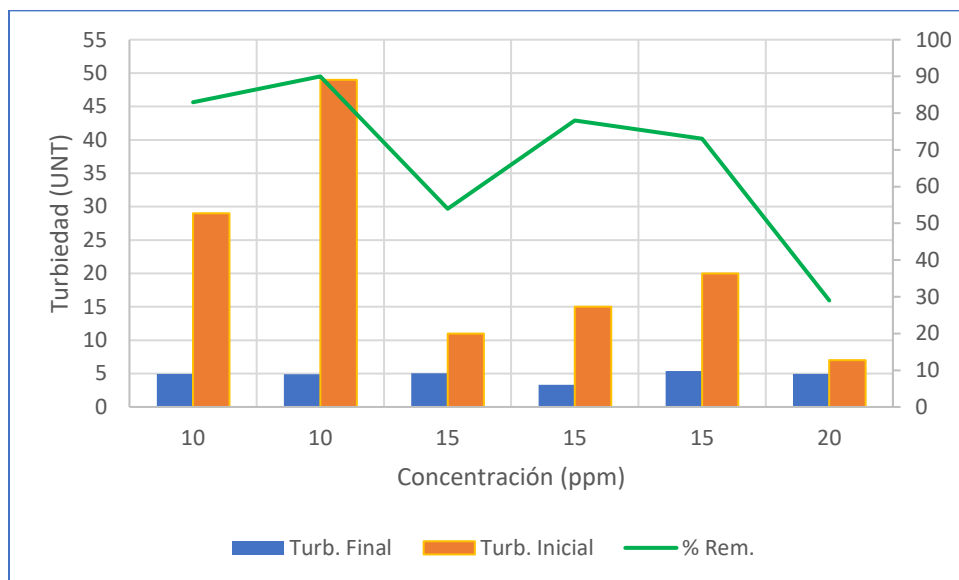


Figura 12. Valores de turbiedad vs concentración de *Moringa oleifera*. Datos tomados de (Mendoza et al., 2000)

En la figura 12 se observan los diferentes valores de turbiedad para dosis de *Moringa oleifera* que variaron entre 10 y 20 ppm. Se observa que el menor valor alcanzado fue de 3,3 NTU, para una dosis de coagulante de 15 ppm. La eficiencia de remoción disminuyó con el aumento de la dosis de coagulante natural.

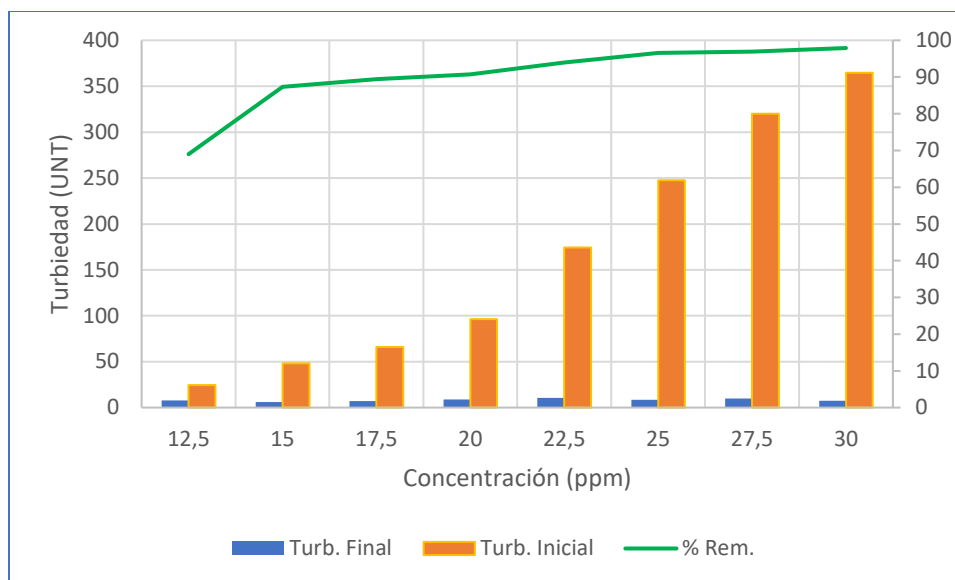


Figura 13. Valores de turbiedad vs concentración de *Moringa oleifera*. Datos tomados de (Feria, et al., 2014)

En la figura 13 se puede observar que Feria, et al, trabajaron con diferentes muestras con valores de turbiedad que van de 24,56 hasta 364,66. El menor porcentaje de remoción fue del 69% para una dosis de 12,5 ppm de coagulante natural. El mayor porcentaje de remoción se obtuvo en la muestra con un valor inicial de turbiedad de 364,66; en esta muestra aplicando una dosis de 30 ppm se logró un 97,9% de remoción.

2.6.2. Valores de color, concentración de coagulante natural y porcentaje de remoción

A continuación se presenta la tabla 6, la cual contempla dosis de coagulantes, valores de color y eficiencia de remoción.

Tabla 6

Color inicial, color final, concentración de Moringa oleifera y % de remoción

Concentración (ppm)	Color Inicial (UPC)	color Final (UPC)	Remoción (%)	Referencia
500	10	5	50	(Caldera, et
400	10	5	50	al., 2007)

Concentración (ppm)	Color Inicial (UPC)	color Final (UPC)	Remoción (%)	Referencia
40	46,6	23,75	49,03	(Sandoval, <i>et al.</i> , 2013)
15	15	5	66,6	(Mendoza, <i>et al.</i> , 2000)
10	30	8	73,3	
175	100	6	94	(Gómez, 2016)
250	100	6	94	
350	100	6	94	

Fuente: Autor 2018

2.6.2.1. Valores de color vs concentración de *Moringa oleifera*

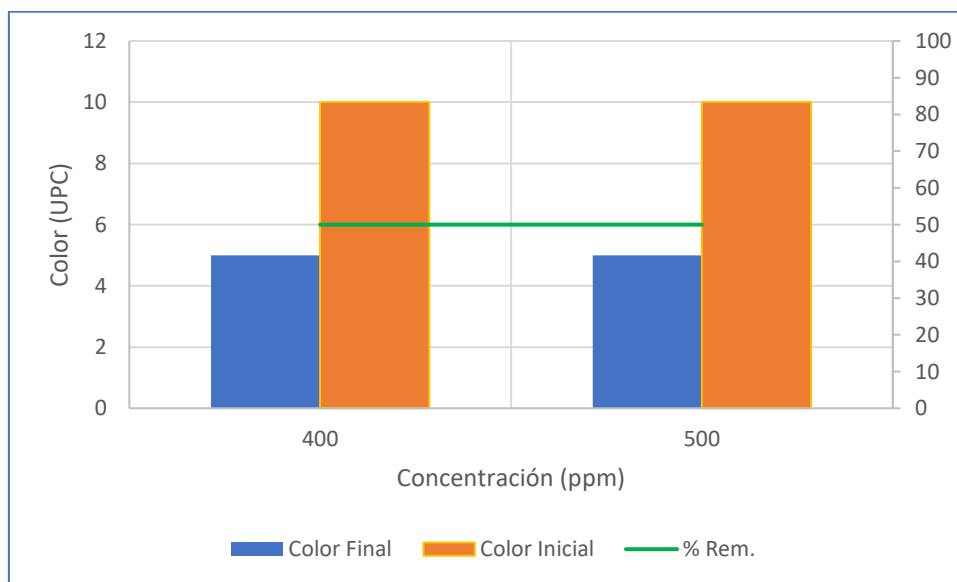


Figura 14. Valores de color vs concentración de *Moringa oleifera* . Datos tomados de (Caldera, *et al.*, 2007)

En la figura 13 se observa que para las dos dosis utilizadas en el ensayo de coagulación (400 y 500 ppm) la eficiencia de remoción del color fue del 50%.

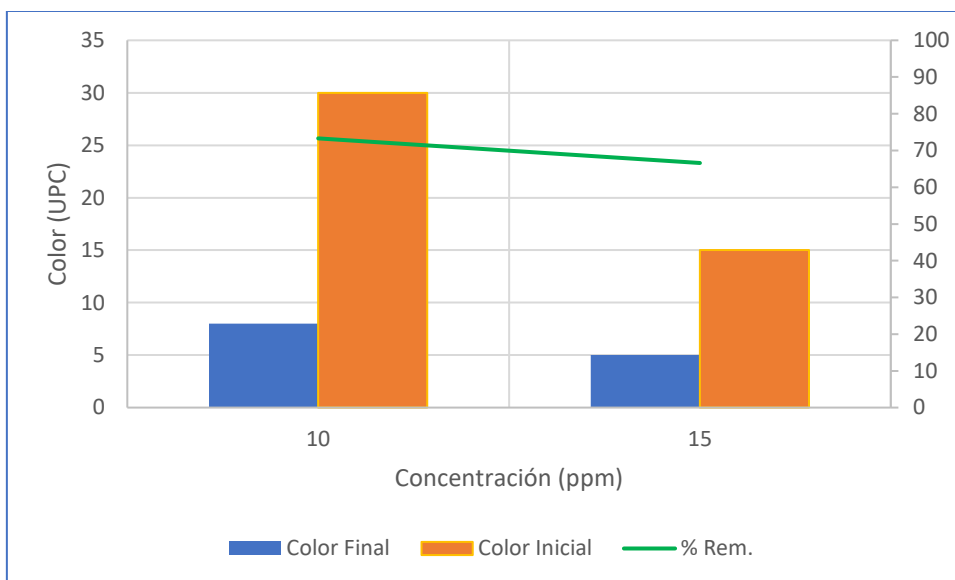


Figura 15. Valores de color vs concentración de *Moringa oleifera*. Datos tomados de (Mendoza, et al., 2000)

En la figura 14 se puede observar que el menor valor de color alcanzado fue de 5 UPC, para una dosis de 15 ppm de coagulante.

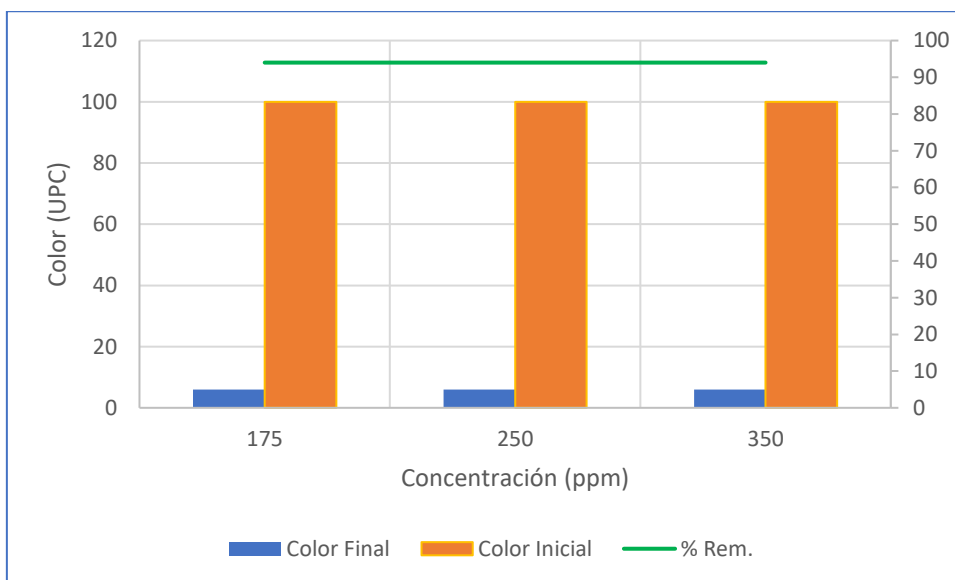


Figura 16. Valores de color vs concentración de *Moringa oleifera*. Datos tomados de (Gómez, 2016)

En la figura 15 se observa que para las tres dosis utilizadas (175, 250 y 350 ppm), la eficiencia de remoción de color fue del 94%.

2.6.3. Valores de pH y concentración de coagulante natural

A continuación se presenta la tabla 7, la cual contempla dosis del coagulante de *Moringa oleifera* y valores de pH.

Tabla 7
Valores de pH inicial, pH final y concentración de *Moringa oleifera*

Concentración (ppm)	pH inicial	pH final	Referencia
500	7,61	6,7	(Caldera, <i>et al.</i> , 2007)
400	7,53	7,5	
30	7,54	7,55	(Molano, 2011)
40	7,54	7,24	
52,2	7,54	7,09	
62,5	7,54	7,42	
72,5	7,54	7,36	
82,5	7,54	7,45	
40	7,81	7,85	(Sandoval, <i>et al.</i> , 2013)
250	7,94	7,1	(Gomez, 2016)
25	7,16	7,03	(Rubí, <i>et al.</i> , 2013)

Fuente: Autor 2018

2.6.3.1. Valores de pH vs concentración de *Moringa oleifera*

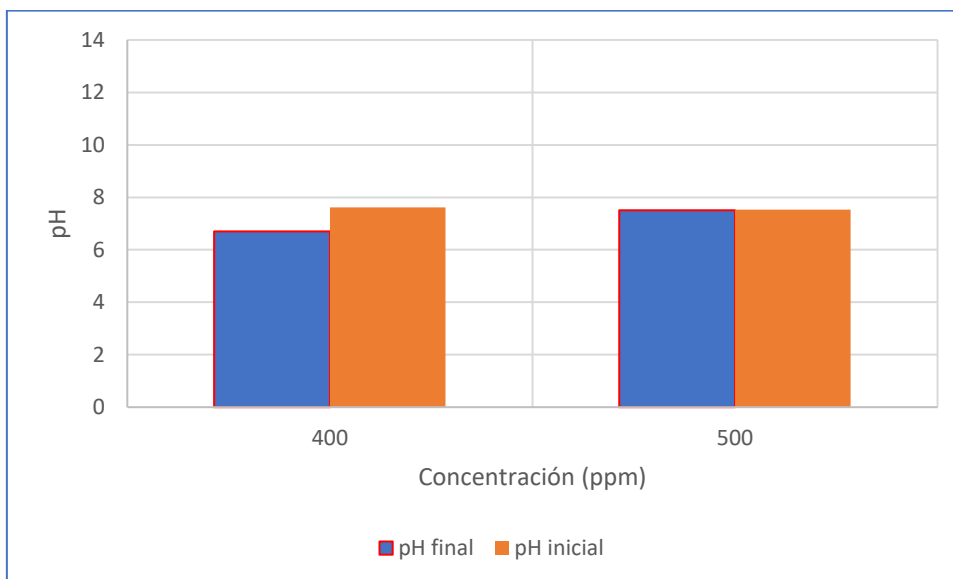


Figura 17. Valores de pH vs concentración de *Moringa oleifera*. Datos tomados de (Caldera, et al., 2007)

En la figura 16 se observa que los valores de pH no sufren alteración significativa al adicionar *Moringa oleifera* como coagulante.

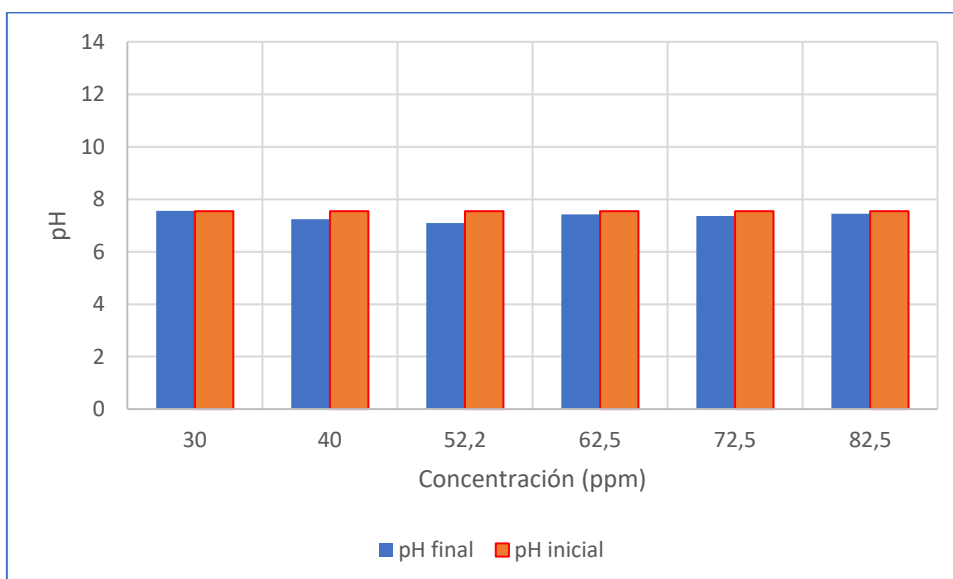


Figura 18. Valores de pH vs concentración de *Moringa oleifera*. Datos tomados de (Molano, 2011)

En la figura 17 se observan los diferentes valores de pH antes y después de adicionar el coagulante. No se observa una variación significativa en estos valores.

2.6.4. Valores de Alcalinidad y concentración de coagulante natural

Tabla 8

Valores de Alcalinidad inicial, Alcalinidad final y concentración de Moringa oleifera

Concentración (ppm)	Alcalinidad		Referencia
	inicial (mg CaCO ₃ /L)	final (mg CaCO ₃ /L)	
500	80	58	(Caldera, <i>et</i>
400	64	78	<i>al.</i> , 2007)
40	116	116	(Sandoval, <i>et</i>
			<i>al.</i> , 2013)
25	136	128	(Rubí, <i>et al.</i> , 2013)

Fuente: Autor 2018

2.6.4.1. Valores de alcalinidad vs concentración de *Moringa oleifera*

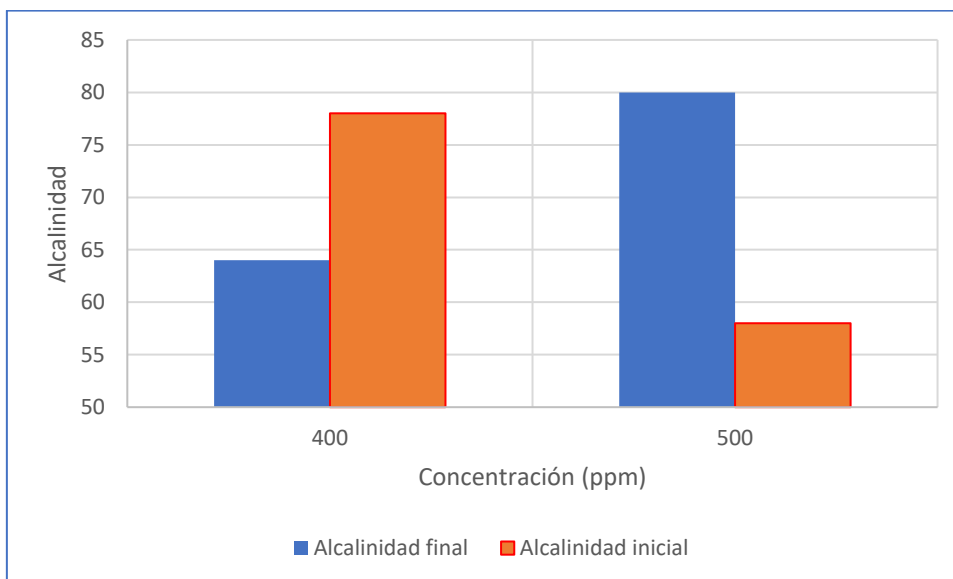


Figura 19. Valores de alcalinidad vs concentración de *Moringa oleifera*. Datos tomados de (Caldera, et al., 2007)

La figura 18 muestra que la concentración menor (400 ppm) de coagulante incidió un poco en el aumento de la alcalinidad, contrario a la concentración mayor (500 ppm) de coagulante que disminuyó el valor de la alcalinidad.

En Colombia, la potabilización del agua requiere de la combinación de procesos físicos y químicos de acuerdo con la normatividad vigente (Decreto 1575 de 2007 y Resolución 2115 de 2007). La resolución 2115 de 2007 señala las características, instrumentos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano; es así como en el artículo 2, del Capítulo II define que la turbiedad del agua para consumo humano no podrá sobrepasar de 2 Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT) y 15 Unidades de Platino Cobalto (UPC) de color . (Ministerio de Protección Social, 2007)

Generalmente en las etapas de coagulación-floculación no se alcanzan estos valores por debajo de 2 UNT y para ello se requiere de procesos posteriores como la sedimentación, clarificación, filtración y desinfección. Los artículos consultados en esta esta investigación enfocan los resultados en la evaluación de las etapas de Coagulación-floculación aplicando un aglutinante de origen natural como es el caso de las semillas de *Moringa oleifera* y por consiguiente a partir de ellos proponer un protocolo de tratamiento que sea accesible a las comunidades rurales del departamento de Casanare; de igual manera que sea de bajo costo, amigable con el ambiente y que cumpla con los parámetros exigidos en la resolución 2115 de 2007.

2.6.5. Protocolo de tratamiento sugerido

A continuación se dan dos ejemplos de protocolos de tratamiento a partir de las semillas de *Moringa oleifera*.

2.6.5.1. Primer ejemplo de protocolo de tratamiento

Chantrel y Saint (como se citó en Wiki Water, 2017,p.1), describen el siguiente procedimiento:

- Las vainas que contienen las semillas deben madurar mediante secado natural en el árbol, hasta alcanzar un color marrón.
- Una vez recolectadas, se extraen las semillas y se descascarillan (se retiran las alas y la envuelta que rodea la almendra). Solo se utilizan las semillas blancas o amarillentas sin signos de reblandecimiento, decoloración o desecación externa.

- La semilla (la almendra) se tritura y tamiza a través de orificios de 0,8 mm aproximadamente.
- El polvo fino recogido se mezcla con agua limpia para formar una pasta. Para tratar 20 litros de agua hay que producir una pasta de 2 gramos (2 cucharas soperas) de polvo de semillas, lo que corresponde a unas 20 almendras trituradas (una por litro). Si el agua no está demasiado turbia, se puede usar una sola almendra por cada 2 litros. La experiencia es la que determina la dosificación óptima.
- Diluir la pasta en una taza de agua limpia (procedente de una botella sellada) y mezclar enérgicamente la solución durante 5 minutos para hacer reaccionar los elementos químicos del polvo y favorece la extracción del coagulante. Las soluciones madre al 2% son las más eficaces; esto implica que los 2 gramos de polvo deben diluirse en 100 ml de agua.
- Retirar el material no soluble por filtración a través de una tela de muselina, una mosquitera de malla fina o una tela de nailon o algodón (diámetro de los poros: 20 μ m). El líquido filtrado, de apariencia lechosa es la solución madre. También debe agitarse ligeramente antes de ser utilizado. En climas cálidos, esta solución no puede conservarse, debiendo prepararse a diario. A 18-19°C puede conservarse tres días, y refrigerada, una semana.
- Remover rápidamente el agua a tratar mientras se vierte con vigor la solución madre. La agitación rápida debe mantenerse entre 30-60 segundos y 2 minutos.
- A continuación, hay que realizar una agitación más lenta y regular (18-20 rpm,) durante 5-15 minutos.
- Dejar reposar el agua en el recipiente, sin moverla durante 1-2 horas.

- Cuando el material sólido se decanta al fondo del recipiente, el agua limpia puede recuperarse comprobando la turbiedad a simple vista.
- Finalmente, hervir el agua o añadir una sustancia que destruya microorganismos patógenos, como el cloro (una o dos gotas por litro) para sanearla por completo y evitar todo peligro para el consumo humano.

2.6.5.2. Segundo ejemplo de protocolo de tratamiento

Es mucho más sencillo. Ejemplo para el tratamiento de 20 litros de agua:

- Descascarillar y aplastar las semillas secas de *Moringa oleifera* hasta obtener una harina.
- Poner 1 cuchara por cada 10 litros de agua en una botella de agua clara.
- Agitar enérgicamente durante 5 minutos.
- Verter el contenido de la botella en el recipiente de agua a purificar a través de un filtro de tejido.
- Remover rápidamente durante 2 minutos, y más lentamente durante 10 minutos.
- Dejar reposar.

Los recipiente utilizados deben limpiarse después de cada uso, retirándose los elementos no solubles de las semillas. Aunque las semillas y las almendras pueden almacenarse durante largos periodos de tiempo, la pasta debe renovarse en cada tratamiento de agua. (Wiki Water, 2017,p.1)

3. Conclusiones y recomendaciones

Los antecedentes históricos demuestran que en las actuales circunstancias no es posible que comunidades vulnerables y marginales, especialmente en el área rural, puedan acceder a agua potable. De continuar así, estas comunidades estarán condenadas a subsistir consumiendo agua cruda con contaminantes diversos que le seguirán deteriorando su calidad de vida, e incluso llegar a ocasionarles la muerte. (Ospina y Ramírez, 2011, p.16)

El coagulante obtenido de las semillas de *Moringa oleifera* representan una alternativa en la remoción de la turbiedad y el color en aguas superficiales. La eficiencia de remoción utilizando *Moringa oleifera* constituye un método de tratamiento competitivo con las sales metálicas de sulfato de aluminio. Con ello se abre una posibilidad de sustitución del sulfato de aluminio por los efectos adversos a la salud que se le atribuyen. (Sandoval, *et al.*, 2013)

La obtención de un coagulante natural a partir de las semillas de *Moringa oleifera*, para clarificar agua cruda constituye una buena alternativa para algunas zonas rurales donde no es posible hacer llegar el producto coagulante (sulfato de aluminio). Esta sola acción permitiría disminuir las enfermedades de origen hídrico como las Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA) y las parasitosis, mejorando la calidad del agua para consumo humano y el nivel de vida de la población. Rodríguez, Muñoz, García, y Fernández (como se citó en Molano, 2011, 37p.)

Las proteínas son los principales componentes activos en los extractos de semillas de *Moringa oleifera*. Los aminoácidos presentes en la semilla de Moringa son el ácido glutámico (Glu), el

ácido aspártico (Asp), arginina (Arg), histidina (His) y Lisina (Lis). (Ndabigengesere, *et al.*, 1995)

El coagulante de *Moringa oleifera* es biodegradable y no tóxico para el medio ambiente, a diferencia del sulfato de aluminio, no afecta significativamente el pH y la alcalinidad. Los lodos producidos por coagulación con *Moringa oleifera* no solo son inocuos, sino también cuatro o cinco veces menos en volumen que el lodo químico producido por la coagulación de sulfato de aluminio. De tal forma que la *Moringa oleifera* puede ser un sustituto potencial para de los compuestos metálicos. Rodríguez, *et al.*, (como se citó en Molano, 2011, 37p.)

El uso de sulfato de aluminio como coagulante, produce un descenso del pH y la alcalinidad en el agua tratada por lo que es necesario adicionar álcalis como cal, soda ash o sosa caustica, en algunos casos donde estos parámetros están por debajo de los indicados en la resolución 2115 de 2007 cuyo rango es de 6,5 a 9,0. El coagulante extraído de *Moringa oleifera* no cambia sus valores iniciales. (Sandoval, *et al.*, 2013, p.99)

La semilla de la planta de *Moringa oleifera* puede ser cultivada y utilizada sin ninguna dificultad en los hogares de áreas rurales y en zonas que presentan problemas de turbiedad en el agua destinada para consumo humano, ya que su extracción no demanda ninguna metodología compleja y por su fácil adaptación a distintos climas y suelos se vuelve muy accesible a los mimos. Este método puede convertirse en una alternativa eficiente y accesible para las familias de la zona rural aledañas al municipio de Yopal y en general al departamento de Casanare.

El tratamiento del agua con extractos acuosos de semillas de *M. oleifera* tiene una desventaja identificada. El material de semilla coagulante-inactivo que también es soluble en agua conduce a un material orgánico disuelto elevado en el agua tratada (nitratos, ortofosfatos, etc.). Si se adopta la cloración para la desinfección final del agua clarificada, se aumenta el potencial para la formación de subproductos de desinfección.

La materia orgánica residual también puede ejercer una demanda de cloro en los trabajos de tratamiento y ser utilizada por los microorganismos como sustrato para crecimiento en el sistema de distribución. Por lo tanto, ha habido mucho trabajo de investigación reciente sobre la extracción y purificación de sólo las proteínas coagulantes-activas de dentro del núcleo de la semilla. La extracción de proteínas y la purificación de semilla de *M. oleifera* se ha reportado sólo a escala de laboratorio.

Se recomienda en lo posible utilizar semillas de *Moringa oleifera* fresca ya que es un compuesto de origen orgánico susceptible de sufrir biodegradación. (Cerón & Garzón, 2015, p.61)

Se recomienda utilizar como método de destrucción de microorganismos la Desinfección Solar del Agua (SODIS), ya que es una solución simple, de bajo costo y ambientalmente sostenible para el tratamiento de aguas para consumo humano a nivel doméstico. (Unicef, 2003, p.4)

Como ocurre con todos los coagulantes, la eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* varían entre un agua turbia y otra. Por ello debe realizarse pruebas para determinar la eficiencia

sobre un agua en particular, así como establecer la dosis óptima según la temporada del año. La aplicación práctica de las soluciones de dosificación es idéntica al del resto de coagulantes: debe realizarse ensayos “Jar-Test” para determinar la dosis específica necesaria para el agua a tratar.

(Wiki Water, 2017,p.1)

Se recomienda realizar los ensayos de la presente monografía para validar los resultados en laboratorio y así determinar cuál es la dosis óptima del coagulante de semilla de *Moringa oleifera* para diferentes fuentes de agua en el departamento de Casanare.

4. Referencias Bibliográficas

- Andía, Y. (Abril de 2000). *Tratamiento de agua, Coagulación y Floculación*. Recuperado el 20 de 12 de 2017, de Evaluación y plantas y desarrollo tecnológico SEDEPAL:
http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154
- Asrafuzzaman, M., Fakhuruddin, A., & Alamgir, M. (2011). Reduction of Turbidity of Water Using Locally Available Natural Coagulants. *International Scholarly Research Notices*, 6. doi:<http://dx.doi.org/10.5402/2011/632189>
- Bravo, M. (2017). *Coagulantes y floculantes naturales usados en la reducción de turbidez, sólidos suspendidos, colorantes y metales pesados en aguas residuales*. Recuperado el 13 de 12 de 2017, de Universidad Distrital Francisco José de Caldas:
<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/5609/1/BravoGallardoMonicaAlejandra2017.pdf>
- Broin, M., Santaella, C., Cuine, S., Kokou, K., Peltier, G., & Joët, T. (Octubre de 2002). *Flocculent activity of a recombinant protein from Moringa oleifera Lam. seeds*. Recuperado el 18 de 07 de 2017, de Applied Microbiology and Biotechnology:
<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00253-002-1106-5>
- Caldera, Y., Mendoza, I., Briceño, L., García, J., & Fuentes, L. (2007). *Eficiencia de las Semillas de Moringa oleifera como Coagulante Alternativo en la Potabilización del Agua*. Recuperado el 22 de 12 de 2017, de Universidad del Zulia, Centro de Investigaciones Biológicas: <http://produccioncientificaluz.org/index.php/boletin/article/view/76/76>

- Canett, R., Arvayo, K., & Ruvalcaba, N. (2014). Aspectos tóxicos más relevantes de *Moringa oleifera* y sus posibles daños. *Revista de Ciencias biológicas y de la salud, Universidad de Sonora*, 36-43. Recuperado el 18 de 07 de 2017, de <http://www.biocetnia.uson.mx/revistas/articulos/26-ARTICULO%207.pdf>
- Cerón, I., & Garzón, N. (2015). *Evaluación de la semilla de Moringa oleifera como coadyudante en el proceso de coagulación para el tratamiento de aguas naturales del río Bogotá en su paso por el municipio de Villa Pinzón, Cundinamarca*. Recuperado el 22 de 12 de 2017, de Universidad Libre: <http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/8109/EVALUACI%C3%93N%20DE%20LA%20SEMILLA%20DE%20MORINGA%20OLEIFERA%20COMO%20COADYUDANTE%20EN%20EL%20PROCESO%20DE%20COAGULACI%C3%93N%20PARA%20E.pdf?sequence=1>
- Chantrel, E., & Saint, A. (2017). Recuperado el 15 de 12 de 2017, de PROPAGE: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Do19uwI4AjAJ:www.moringanews.org/documents/Techniques%2520.doc+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co>
- Coelho, J., Santos, N., Napoleão, T., Gomes, F., Ferreira, R., Zingali, R., . . . Paiva, P. (2009). Effect of *Moringa oleifera* lectin on development and mortality of *Aedes aegypti* larvae. *ELSEVIER*, 934-938. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.08.022>
- Eilert, U., Wolters, B., & Nahrstedt, A. (1981). *The Antibiotic Principle of Seeds of Moringa oleifera and Moringa stenopetala*. Recuperado el 21 de 12 de 2017, de Institut für Pharmazeutische Biologie der Technischen Universität, Braunschweig: <file:///C:/Users/Admin/Downloads/1981MoringamitEilert.pdf>

Feria, J., Bermúdez, S., & Estrada, A. (Junio de 2014). *Eficiencia de la semilla de Moringa oleifera como coagulante natural para la remoción de la turbidez del río Sinú*.

Recuperado el 21 de 12 de 2017, de Producción más limpia:

http://www.lasallista.edu.co/revistas/pl/pl_v9n1/pl_v9n1.pdf

Foidl, N., Makkar, H., & Becker, K. (2 de 11 de 2001). *The potential of Moringa oleifera for agricultural and industrial uses*. Recuperado el 20 de 01 de 2018, de Biomasa:

<https://miracletrees.org/moringa->

[doc/the_potential_of_moringa_oleifera_for_agricultural_and_industrial_uses.pdf](https://miracletrees.org/moringa-doc/the_potential_of_moringa_oleifera_for_agricultural_and_industrial_uses.pdf)

Folkard, G., & Sutherland, J. (1996). *Moringa oleifera un árbol con enormes potencialidades*.

Recuperado el 16 de 12 de 2017, de Agroforestería en las Américas:

<http://www.fao.org/3/a-x6324s.pdf>

Fundacao Nacional de Saúde. (2013). *Manual Prático de Análise de Água*. Recuperado el 28 de 12 de 2017, de FUNASA: [http://www.funasa.gov.br/site/wp-](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf)

[content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf](http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manual_pratico_de_analise_de_agua_2.pdf)

García, B. (13 de Diciembre de 2007). *Metodología de Extracción In Situ de Coagulantes*

Naturales para la Clarificación de Agua Superficial. Aplicación en Países en Vía de

Desarrollo. Recuperado el 15 de 12 de 2017, de Universidad Politecnica de Valencia:

https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12458/Tesis%20de%20Master_BEATRIZ%20GARCIA%20FAYOS.pdf?sequence=1

Gassenschmidt, U., Jany, K., Tauscher, B., & Niebergall, H. (1995). Isolation and

characterization of a flocculating protein from *Moringa oleifera* Lam. *US National*

Library of Medicine, 477-4781. Recuperado el 22 de 07 de 2017, de

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Gassenschmidt%20U%5BAuthor%5D&cauthor=true&cauthor_uid=7727523

- Gherbremichael, K., Gunaratna, K., Henriksson, H., Brumer, H., & Dalhammar, G. (2005). A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed. *ELSEVIER*, 2338-2344. doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.04.012>
- Gómez, F. (2016). *Evaluación de la eficiencia de semillas de Moringa oleifera lam. Como coagulante natural en la ciudad de Pasto-Colombia*. Recuperado el 28 de 12 de 2017, de Universidad Mariana, San Juan de Pasto:

file:///F:/Ingenieria_Ambiental_2017/Semestre_1/Trabajo_de_Grado/Bibliografias_moringa/Evaluaci%C3%B3n_de_la_eficiencia_de_Semillas_de_Moringa_Oleifera_Lam_Como_Coagulante_natural_en_la_ciudad_de_Pasto_Colombia.pdf
- Gómez, K. (Diciembre de 2010). *Eficiencia del coagulante de la semilla de Moringa oleifera en el tratamiento del agua con baja turbiedad*. Recuperado el 22 de 12 de 2017, de Zamorano, Honduras.
- Jahn, S. (1988). Using Moringa Seeds as Coagulants in Developing Countries. *Journal American Water Works Association*, 43-50. Recuperado el 22 de 10 de 2017
- Jiang, J.-q., & Lloyd, B. (2002). Progress in the development and use of ferrate(VI) salt as an oxidant and coagulant for water and wastewater treatment. *Water Research*, 1397-1408. Recuperado el 7 de 11 de 2017, de Water Research:

http://www.academia.edu/19222381/Progress_in_the_development_and_use_of_ferrate_VI_salt_as_an_oxidant_and_coagulant_for_water_and_wastewater_treatment
- Kawamura, S. (1991). Effectiveness of Natural Polyelectrolytes in Water Treatment. *Journal American Water Works Association*, 88-91. Recuperado el 28 de 11 de 2017

- Kirchener, C. (1981). *Aspectos químicos y físicos de la coagulación del agua*. Recuperado el 16 de 12 de 2017, de Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente-CEPIS: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan/007926/07926-08.pdf>
- Lédo, P., Lima, R., Paulo, J., & Duarte, M. (3 de 12 de 2009). *Estudio Comparativo de Sulfato de Aluminio y Semillas de Moringa oleifera para la Depuración de Agua con Baja Turbiedad*. Recuperado el 8 de 10 de 2017, de Universidad Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnología: <http://www.scielo.cl/pdf/infotec/v20n5/art02.pdf>
- Liñan, F. (2010). *Moringa oleifera* el árbol de la nutrición. *Ciencia y Salud*, 130-138. doi:<https://doi.org/10.22519/21455333.70>
- Loreto, S., & Ferran, B. (12 de 2002). *Revisión de los Estudios Sobre Exposición al Aluminio y Enfermedad de Alzheimer*. Recuperado el 29 de 12 de 2017, de Revista Española de Salud Pública: <http://www.redalyc.org/pdf/170/17000602.pdf>
- Mahamadou, A. (2014). *Propiedades fungicida, bactericida y aglutinante de las semillas de Moringa oleifera Lam.* Recuperado el 08 de 09 de 2017, de Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Departamentode Biología: <http://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/726/A0058.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez, D., Chávez, M., Díaz, A., Chacín, E., & Fernández, N. (2003). Eficiencia del Cactus Lefaria para su uso como coagulante en la clarificación de aguas. *Revista Técnica de la facultad de ingeniería Universidad del Zulia*, 1. Recuperado el 14 de 09 de 2017, de <https://www.scienceopen.com/document?id=ef176e2c-7bf7-4555-8f88-6a1e3a3ac4cf>
- Másmela, A., & Aguilar, N. (2017). *Evaluación de Almidón de monihot esculenta (Yuca) y musa AAB simmonds. (Plátano) en Procesos de coagulación y floculación para el tratamiento*

de aguas residuales en la Ptar del parque agroindustrial de occidente-PAO. Recuperado el 12 de 01 de 2018, de Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD:

<http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/12023/1/1022947497.pdf>

Melo, G., & Turriago, F. (2012). *Evaluación de la eficiencia de la utilización de semillas de Moringa oleifera como una alternativa de biorremediación en la purificación de aguas superficiales del caño Cola de Pato ubicado en el sector rural del municipio de Acacias*. Recuperado el 08 de 12 de 2017, de Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD: <http://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/1428/1/TESIS%20DE%20GRADO-EFICIENCIA%20UTILIZACION%20DE%20SEMILLAS%20DE%20MORINGA%20-%20BIORREMEDIACION.pdf>

Méndez, A. (Junio de 2010). *Evaluación de la extracción de almidón del banano verde (Musa Sapientum Variedad Gran Enano) producto de desecho de las industrias bananeras y evaluación de su función como excipiente en la formulación de comprimidos*. Recuperado el 13 de 10 de 2017, de Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología: <http://glifos.concyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%202009.59.pdf>

Mendoza, I., Fernández, N., Ettiene, G., & Díaz, A. (08 de 2000). *Uso de la Moringa oleifera como coagulante en la potabilización de las aguas*. Recuperado el 18 de 07 de 2017, de Scientific Journal from the Experimental: <http://www.elaguapotable.com/Uso%20de%20la%20Moringa%20oleifera%20como%20coagulante.pdf>

Ministerio de Protección Social. (22 de 06 de 2007). *Resolución 2115 de 2007*. Recuperado el 24 de 11 de 2017, de Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial:

- http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf
- Mitjans, D., Pita, V., & Zumalacárregui, B. (2016). Caracterización de aceites de las semillas de *Moringa oleifera* a partir de la extracción por diferentes métodos. *Revista colombiana de Biotecnología*, 106-111. doi:<https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.54324>
- Molano, L. (2011). *Las Semillas de Moringa oleifera Lam como Alternativa de Coagulante Natural para la Purificación de Agua*. Recuperado el 11 de 06 de 2017, de Scribd: <https://es.scribd.com/document/314520602/Moringa>
- Murillo, D. (2011). *Análisis de la influencia de dos materias primas coagulantes en el aluminio residual del agua tratada*. Recuperado el 15 de 01 de 2018, de Universidad Tecnológica de Pereira, Escuela de Tecnologías, Química Industrial: <https://www.revistavirtualpro.com/download/analisis-de-la-influencia-de-dos-materias-primas-coagulantes-en-el-aluminio-residual-del-agua-tratada.pdf>
- Muyibi, S., Noor, M., Leong, T., & Loon, L. (2010). Effects of Oil Extraction from *Moringa Oleifera* Seeds On Coagulation Of Turbid Water. *International Journal of Environmental Studies*, 243-254. doi:<https://doi.org/10.1080/00207230210924>
- Ndabigengesere, A., Narasiah, S., & Talbot, B. (Febrero de 1995). Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. *Elsevier*, 703-710. doi:[https://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)00161-Y](https://doi.org/10.1016/0043-1354(94)00161-Y)
- Núñez, E. (Diciembre de 2007). *Validación de la efectividad de la semilla de Moringa oleifera como coagulante natural del agua, destinada al consumo humano, Morocelí, Honduras*. Recuperado el 6 de 11 de 2017, de Desarrollo Socioeconómico y Ambiental: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/522/1/IAD-2007-T013.pdf>

- Okuda, T., Baes, A., Nishijima, W., & Okada, M. (2001). Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. *Water Research*, 405-410. doi:[https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00290-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00290-6)
- Oloduro, O., Aderiye, B., Connolly, J., Akintayo, E., & Famurewa, O. (2010). *Characterization and Antimicrobial Activity of 4-(β-D-Glucopyranosyl-1→4-α-L-rhamnopyranosyloxy)-benzyl thiocarboxamide; a Novel Bioactive Compound Moringa oleifera Seed Extract*. Recuperado el 18 de 07 de 2017, de Department of Microbiology, Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigeria.: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12223-010-0071-0>
- Olson, M., & Fahey, J. (9 de 02 de 2011). *Moringa oleifera: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas*. Recuperado el 21 de 07 de 2017, de Revista Mexicana de Biodiversidad: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42520885001>
- Organización Mundial de la Salud. (Noviembre de 2016). *Agua, Saneamiento y Salud*. Recuperado el 19 de 12 de 2017, de Organización Mundial de la Salud: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>
- Ospina, O., & Ramírez, H. (2011). Tratamiento casero alternativo de agua para consumo humano por medio de fitoquímicos. *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*, 7-17. Recuperado el 22 de 12 de 2017, de <http://repository.ucc.edu.co/bitstream/ucc/86/1/46-Tratamientocaseroalternativo.pdf>
- Pérez, J. (2010). *Manual de Potabilización del Agua*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Recuperado el 02 de 07 de 2017

- Ramírez, H., & Jaramillo, J. (26 de Abril de 2015). *Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua*. Recuperado el 27 de 07 de 2017, de Universidad Militar Nueva Granada: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/1303>
- Rodríguez, S., Muñoz, R., García, O., & Fernández, E. (2005). *Empleo de un producto coagulante natural para clarificar agua*. Recuperado el 10 de 01 de 2018, de Centro de investigaciones científicas Cuba, Revista CENIC, Ciencias Químicas: <http://www.redalyc.org/pdf/1816/181620511037.pdf>
- Romero, J. (2009). *Calidad del Agua*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería. Recuperado el 16 de 07 de 2017
- Rubí, M., Carrasquero, S., Martínez, D., Mejías, D., & Vargas, L. (2013). Eficiencia de las semillas de *Moringa oleifera* como coagulante orgánico en la remoción de metales en agua de baja turbiedad. *Revista Tecnocientífica URU, Universidad Rafael Urdaneta*. Recuperado el 15 de 08 de 2017, de file:///F:/Ingenieria_Ambiental_2017/Semestre_1/Trabajo_de_Grado/Bibliografias_moringa/186-693-1-PB.pdf
- Sanchez, Y., Martínez, A., Sinagawa, S., & Vásquez, J. (2013). *Moringa oleifera*; Importancia, Funcionalidad y Estudios Involucrados. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*. Recuperado el 06 de 12 de 2017, de https://www.researchgate.net/profile/Jesus_Vazquez_Rodriguez/publication/277019696_Moringa_Oleifera_Importancia_Funcionalidad_y_Estudios_Involucrados_Sanchez-Pena_YA_Martinez-Avila_GCG_Sinagawa-Garcia_SR_Vazquez-Rodriguez_JA_AQM_Acta_Quimica_Mexicana_Vol5

- Sandoval, A., María, M., Laines, C., & José, R. (12 de Agosto de 2013). *Moringa oleifera una alternativa para sustituir coagulantes metálicos en el tratamiento de aguas superficiales*. Recuperado el 13 de 12 de 2017, de Revista ingeniería académica Universidad Autónoma de Yucatán: <http://www.redalyc.org/pdf/467/46730913001.pdf>
- Santos, A., Argolo, A., Coelho, L., & Paiva, P. (2005). Detection of water soluble lectin and antioxidant component from *Moringa oleifera* seeds. *US National Library of Medicine*, 975-980. Recuperado el 22 de 07 de 2017, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15766952>
- Scaramal, G., Guilherme, I., Jurca, V., Alves, B., Fagundes, R., & Bergamasco, R. (2012). Evaluation of extracts of *Moringa oleifera* Lam seeds obtained with NaCl and their effects on water treatment. *Universidade Estadual de Maringá*. doi:10.4025/actascitechnol.v34i3.9605
- Schwarz, D. (Junio de 2000). *Water Clarification using Moringa Oleifera*. Recuperado el 26 de 07 de 2017, de Technical Information W1e: https://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SCHWARTZ%202000%20Water%20Clarification%20Using%20Moringa%20Oleifera.pdf
- Shogren, R. (2009). Flocculation of kaolin by waxy maize starch phosphates. *ELSEVIER*, 639-644. Recuperado el 20 de 13 de 2017, de <https://pdfs.semanticscholar.org/160f/d0dcd8c1727958a7451e9ef9bb051daafef8.pdf>
- Skolmen, R. (1990). *Samanea saman*. Recuperado el 15 de 13 de 2017, de Department of Agriculture, Forest Service: 507-510.: [file:///C:/Users/Admin/Downloads/Samaneasaman%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Admin/Downloads/Samaneasaman%20(1).pdf)

Stauber, J., Florence, M., Davies, C., Adams, M., & Buchanan, J. (Noviembre de 1999).

Bioavailability of Al in alum-treated drinking water. Recuperado el 15 de 12 de 2017, de American Water Works Association:

<https://search.proquest.com/openview/5dd316c5401ba27665851d2ccc231e85/1?pq-origsite=gscholar&cbl=25142>

Toral, O., Cerezo, Y., Reino, J., & Santana, H. (Octubre de 2013). *Caracterización morfológica de ocho procedencias de Moringa oleifera (Lam) en condiciones de vivero*. Recuperado el 21 de Enero de 2018, de Universidad de Matanzas Camilo Cifuentes, Cuba:

<http://www.redalyc.org/pdf/2691/269129935002.pdf>

Unicef. (06 de 2003). *Desinfección Solar del Agua (SODIS)*. Recuperado el 25 de 10 de 2017, de Fundación SODIS, América Latina:

http://www.sodis.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/dokumente_material/manual_s.pdf

Vásquez, L. (2007). *Remoción de turbiedad de agua con coagulantes naturales obtenidos de semillas (Eritrina americana, Quercus ilex, Acacia farsnesiana, Viscum album y Senna candolleana)*. Recuperado el 12 de 12 de 2017, de Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez, Oaxaca, Mex.:

http://www.ciidiroaxaca.ipn.mx/revista/sites/www.ciidiroaxaca.ipn.mx.revista/files/pdf/Vol11No1/NYD_Vol-11-1-Art-3.pdf

Vijayaraghavan, G., Sivakumar, T., & Vimal Kumar, A. (2011). Application of plant based coagulants for waste water treatment. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, 88-92. Recuperado el 12 de 12 de 2017

Villareal, J., Rocha, A., Cárdenas, M., Moreno, S., González, M., & Vargas, V. (2013).

Caracterización morfométrica, viabilidad y germinación de semillas de mezquite y huizache en el noreste de México. *Revista Internacional de Botánica Experimental*, 169-174.

Wiki Water. (2017). *El pretratamiento (floculación, decantación) mediante el uso de semillas de Moringa oleifera*. Recuperado el 15 de 12 de 2017, de WIKIWATER:

<http://www.wikiwater.fr/23-el-pretratamiento-floculacion.html>

5. Anexo 1. Resumen de la Normatividad sobre agua potable en Colombia

Título de la norma	Contenido
Decreto 2811 de 1974, libro II parte III	Arts. 77 a 78. Clasificación de aguas. Arts.80 a 85. Dominio de aguas y cauces. Arts. 86 a 89. Derecho de uso del agua. Arts. 134 a 138. Prevención y control de contaminación
Ley 9 de 1979	Código Sanitario Nacional. Arts. 51 a 54. Control y prevención de las aguas para consumo humano. Art. 55. Agus superficiales. Arts. 69 a79. Potabilización de Agua.
Decreto 2105 de 1983	Reglamenta parcialmente la Ley 9 de 1979, sobre potabilización y suministro de agua para consumo humano.
Decreto 1594 de 1984	Por la cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título IV-Parte III-Libro II y el Título III de la Parte III-Libro I-del Decreto Ley 2811 de 1974en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.
Resolución 822 de 1989	Por la cual se crea la comisión Nacional de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS98
Ley 99 de 1993	Arts. 10, 11, 24, 29. Prevención y contaminación de las aguas.
Decreto 605 de 1996	Reglamenta los procedimientos de potabilización y suministro de agua para consumo humano.
Resolución 1096 del 2000	Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y Saneamiento Básico RAS
Ley 373 de 1997	Uso eficiente y ahorro del agua.
Resolución 250 de 1997	Por la cual se fijan las tasas para aprovechamiento de aguas subterráneas.
Resolución 815 de 1997	Por la cual se fija un término para la implementación de medidores en los pozos de extracción de aguas subterráneas.

Título de la norma	Contenido
Decreto 475 de 1998	Algunas normas técnicas de calidad del agua.
Decreto 3102 de 1997	Por la cual se reglamenta el artículo 15 de la Ley 373 de 1997 en relación con la instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua.
Decreto 1575 de 2007	Por la cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano.
Resolución 2115 de 2007	Por medio de la cual se señalan las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
Resolución 0330 de Junio de 1997	Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.

Fuente: Autor 2018